

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Г.Б.Варламов
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: Розпилення води методом удару в процесах використання теплоти кристалізації для систем теплопостачання

Виконала: студентка II курсу, групи ТП – 71 мн

Карнаух Оксана Олегівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник проф., д. т. н. Пуховий І. І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант з мат. моделювання к.т.н. Соломаха А.С.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

Спеціалізація «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Г.Б.Варламов
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Карнаух Оксані Олегівні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Розпилення води методом удару в процесах використання теплоти кристалізації для систем теплопостачання,

науковий керівник дисертації _____ проф., д. т. н. Пуховий І. І. _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації 16.05.2019 р.

3. Об'єкт дослідження Системи теплопостачання з використання відновлюваного джерела енергії – теплоти кристалізації води

4. Предмет дослідження Процеси розпилення води на краплі при ударі струменя об тверду поверхню з різними геометричними характеристиками поверхні удару та замерзанням води у бурульках.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Розробити експериментальні установки. Виготовити поверхні удару різної конструкції. Провести дослідження співвідношення між розпиленими вторинними краплями та третинними краплями, що стікають з поверхні удару. Знайти діаметр плями від струменя, що витікає з отвору в залежності від висоти падіння струменя та витрати води. Описати математичні залежності діаметра плями та порівняти їх з літературними даними. Дослідити розпилення води на горизонтальній П-подібній поверхні на трьох зонах з різним діаметром отворів. Дослідити процеси формування крапель на дахоподібній і Т-подібній поверхні удару. Провести дослідження при негативних температурах з отриманням бурульок. Розробити систему вентиляції у будинку з використанням теплоти замерзання води.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Принципові схеми. Графіки порівняння різних способів. Ілюстрації, рисунки та фотографії.

7. Орієнтовний перелік публікацій Патент на корисну модель «Параметри розлітання крапель при ударі струменя води об поверхню при малих витратах води». Патент на корисну модель «Спосіб спрямованого зрошення водою лінійних насадок». Тези доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях – 4 шт.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
мат. моделювання	Соломаха А.С., доцент		

9. Дата видачі завдання 10.03.19

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Літературний огляд	20.09.18	
2.	Висновки по огляду та постановка задачі дослідження	15.11.18	
3.	Розробка експериментальних установок	05.01.19	
4.	Дослідження поверхні удару з уловлюванням вторинних крапель при замерзанні води	10.01.19	
5.	Дослідження гідродинамічних процесів розпилення води	02.02.19	
6.	Дослідження вибраних поверхонь удару при негативних температурах з утворенням бурульок	22.02.19	
7.	Обробка експериментів	25.03.19	
8.	Розробка системи вентиляції будівлі	24.04.19	
9.	Оформлення дисертації	16.05.19	

Студент

(підпис)

О.О. Карнаух
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

І.І. Пуховий
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-науковою програмою підготовки на тему «Розпилення води методом удару в процесах використання теплоти кристалізації для систем теплопостачання»: 105 с., 29 рис., 8 табл., 3 додатка, 27 джерел.

Об'єкт дослідження – системи теплопостачання з використання відновлюваного джерела енергії – теплоти кристалізації води.

Мета роботи – дослідження гравітаційного методу диспергування води при наморозуванні бурульок та доцільності використання теплоти кристалізації води для підігрівання повітря, розробка конструкції кристалізатора-охолоджувача води та схеми його включення в систему теплопостачання, визначення аеродинамічного опору промислового підігрівача повітря.

Актуальність роботи визначається зацікавленістю останнім часом нетрадиційними джерелами енергії у зв'язку зі стрімким зменшенням кількості первинних енергоресурсів та нестримним підвищенням їх вартості.

Задачі дослідження: визначити геометричні характеристики факелу розпилу при гравітаційному методі диспергування води, виконати експериментальне дослідження наморозування бурульок при гравітаційному розпиленні рідини, провести комп'ютерне моделювання аеродинамічних процесів в кристалізаторі, розрахувати систему теплопостачання з використанням теплоти кристалізації води та теплових насосів.

Методами дослідження є експериментальне дослідження гравітаційного диспергування води та наморозування льоду, комп'ютерне моделювання аеродинамічних процесів у льодогенераторі-підігрівачі повітря, аналітичні розрахунки системи теплопостачання з використанням теплоти кристалізації води.

Наукова новизна роботи полягає у виконанні експериментального дослідження радіусів розбризкування води, що витікає вниз через отвір з гравітаційним тиском до 200 мм вод. ст. при ударі її об тверду поверхню у вигляді різноманітних насадок; у дослідженні впливу максимального радіуса розлітання крапель у залежності від відстані від поверхні удару до площини акумулювання крапель; у моделюванні та визначенні аеродинамічного опору при кристалізації води в бурульках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: відновлювальні джерела енергії, теплота кристалізації води, охолоджувач-кристалізатор води, гравітаційне диспергування, гідравлічний опір, система вентиляції.

ANNOTATION

The master's thesis contains: 105 pages, 42 formulas, 48 drawings, 8 tables and 26 sources in the list of references.

The actuality of this thesis is based on the recent interest in alternative power sources because of sharp decrease of traditional primary energy resources and continuous increase of their cost.

The objective of this master's thesis is to find out the possibilities of the gravitation method of water dispersion during the freezing of icicles and the appropriateness of use of water cooling crystallizer and a scheme of its inclusion to the heat supply system, estimation of aerodynamic resistance of industrial air heater.

The tasks of the thesis are to determine geometric characteristics of spray for the gravitation method of water dispersion, to do an experimental research of freezing of icicles using the dispersion of liquid, to model on computer the aerodynamic processes in crystallizer, to calculate the heat supply system with use of heat of water crystallization.

The object of this thesis is a heat supply system with use of water crystallization heat and the heat of thermal pumps.

The subject of this master's thesis are the processes of water dispersion by forces of gravitation with purpose of use of received drops for creation of icicles, hydrodynamic resistance during the flow of air through the system of created icicles, elaboration of construction of air heater.

The method of investigation is an experimental research of gravitation water dispersion and the water freezing, computer modeling of aerodynamic processes in ice generator-air heater, analytic calculations of heat supply system with use of water crystallization heat and thermal pumps.

Scientific novelty of this work consists in experimental research of radius of water dispersion that flows down through the hole with gravitation pressure up to 200 mm of water column and with stroke against solid surface; in investigation of influence of the maximum radius of drops spread depending on the distance from the surface of stroke to the plane of drops accumulation; in modeling and determination of aerodynamic pressure during water crystallization in icicles.

The thesis has a practical importance for systems of heat- and cold supply of buildings of different purpose, results of the research can be used for improvement of existing buildings as well as for the new projects, especially in countries with big quantity of frosty days all over a year.

The list of key words: renewable energy sources, water crystallization heat, water cooler-crystallizer, gravitation dispersion, hydrodynamic resistance, system of ventilation.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация на соискание степени магистра по образовательно-научной программе подготовки на тему «Распыление воды методом удара в процессах использования теплоты кристаллизации для систем теплоснабжения»: 105 с., 29 рис., 8 табл., 3 приложения, 27 источников.

Объект исследования - системы теплоснабжения с использованием возобновляемого источника энергии - теплоты кристаллизации воды.

Цель работы - исследование гравитационного метода диспергирования воды при намораживанию сосулек и целесообразности использования теплоты кристаллизации воды для подогрева воздуха, разработка конструкции кристаллизатора-охладителя воды и схемы его включения в систему теплоснабжения, определение аэродинамического сопротивления промышленного подогревателя воздуха.

Актуальность работы определяется заинтересованностью в последнее время нетрадиционными источниками энергии в связи со стремительным уменьшением количества первичных энергоресурсов и безудержным повышением их стоимости.

Задачи исследования: определить геометрические характеристики факела распыления при гравитационном методе диспергирования воды, выполнить экспериментальное исследование намораживания сосулек при гравитационном распылении жидкости, провести компьютерное моделирование аэродинамических процессов в кристаллизаторе, рассчитать систему теплоснабжения с использованием теплоты кристаллизации воды и тепловых насосов.

Методами исследования является экспериментальное исследование гравитационного диспергирования воды и намораживания льда, компьютерное моделирование аэродинамических процессов в льдогенераторе-подогреватели воздуха, аналитические расчеты системы теплоснабжения с использованием теплоты кристаллизации воды.

Научная новизна работы заключается в выполнении экспериментального исследования радиусов разбрызгивания воды, вытекающей вниз через отверстие с гравитационным давлением до 200 мм вод. ст. при ударе ее о твердую поверхность в виде различных насадок; в исследовании влияния максимального радиуса разлета капель в зависимости от расстояния от поверхности удара плоскости аккумуляирования капель; в моделировании и определении аэродинамического сопротивления при кристаллизации воды в сосульках.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: возобновляемые источники энергии, теплота кристаллизации воды, охладитель-кристаллизатор воды, гравитационное диспергирования, гидравлическое сопротивление, система вентиляции.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	10
1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ДИСПЕРГУВАННЯ РІДИНИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВОДИ	13
1.1 Відновлювані джерела теплоти	13
1.2 Лід та системи заготівлі льоду	14
1.3 Використання теплоти кристалізації води для підігрівання повітря	21
1.4 Основні способи диспергування рідин	22
1.5 Дослідження параметрів диспергації води ударом об тверду суху і змочену поверхні	24
1.6. Залежність максимального радіуса розлітання вторинних крапель від відстані, від поверхні удару до нижче розташованих площин.	24
1.7 Утворення бурульок на горизонтальних насадках	25
1.8. Вивчення гідродинамічних параметрів при течії та змочуванні суцільних металевих вертикальних пластин і сіток	26
1.9 Зрошування сталей оцинкованих пластин.	27
1.10 Зрошування сіток	28
1.11 Висновки до розділу 1	28
2 ГІДРОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКІВ У ВИГЛЯДІ КРАПЕЛЬ ПРИ ВИТІКАННІ ВОДИ ЧЕРЕЗ ОТВІР І УДАРІ ПЕРВИННОГО СТРУМЕНЯ ОБ РІЗНІ КОНСТРУКЦІЇ	30
2.1 Розробка і дослідження різних конструкцій поверхонь удару для розпилення води ударом об тверду поверхню	31
2.2 Дослідження удару крапель води об поверхні удару в умовах негативних температур довкілля з утворенням бурульок на насадках	49
2.3 Висновки до розділу 2	54
3 ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ПОВІТРЯ В МОДЕЛІ КРИСТАЛІЗАТОРА З БУРУЛЬКАМИ	55
3.1 Створення дослідної моделі та методика її дослідження	55
3.2 Результати моделювання та їх обробка	59
3.3 Висновки до розділу 3	63

4 ТРЬОХСТУПЕНЕВА ЕСПЕРЕМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ	64
4.1 Сучасні енергоефективні системи вентиляції	64
4.2 Аналітичний розрахунок трьох ступеневої системи вентиляції	65
4.2.2 Проектний розрахунок системи вентиляції.....	69
5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	81
5.1 Резюме проекту	81
5.2 Організація проекту	82
5.3 Канва бізнес-моделі проекту.....	82
5.4 Ключові види діяльності проекту	84
5.5 Ціннісні пропозиції та споживачі.....	85
5.5 SWOT-аналіз проекту	88
5.6 Взаємодія зі споживачами та канали збуту	89
5.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту.....	90
5.8. План робіт та партнери проекту	91
5. 9. Грошовий потік та економічна оцінка проекту	92
5.10 Висновок до розділу 5	95
ВИСНОВКИ	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	97
ДОДАТОК А Технічне завдання на науково-дослідну роботу	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б Список наукових праць.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК В Перевірка на академічний плагіат	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Умовні позначення

h – висота;

R – радіус розлітання крапель;

G – витрата;

Q – тепловий потік;

m – маса;

τ – час;

λ – коефіцієнт теплопровідності; питома теплота плавлення льоду;

V – об'єм;

ρ – густина;

d – діаметр;

l, L – довжина;

t – температура;

c – теплоємність;

P – тиск;

q – питомий тепловий потік;

F – площа поверхні;

α – коефіцієнт тепловіддачі;

K – коефіцієнт теплопередачі;

δ – товщина;

f – площа поперечного перерізу;

W – швидкість;

Re – число Рейнольдса;

Nu – число Нусельта;

N – електрична потужність;

C – ціна;

K – капіталовкладення

a – довжина;

b – ширина;

N – кількість.

Основні індекси

ст – стінка;

о – опалення;

в – вентиляція;

кр – кристалізація;

л – лід;

б – бурулька;

в – вода;

пов – повітря;

н – насадка;

к – калорифер

Основні скорочення

ПЕОМ – електронно-обчислювальна машина.

ВСТУП

Проблема енергоресурсів з кожним роком стає все більш актуальною. Якщо світова спільнота поставила за мету зменшити кількість використання традиційних енергоресурсів та забезпечити цілісність решток ПЕК 20 років назад, то Україна тільки приєднується до даної ініціативи та на законодавчому рівні починає впроваджувати способи для економії традиційних енергоресурсів.

В 2017 році Міністерством енергетики та вугільної промисловості України була представлена енергетична стратегія, яка за прогнозами має реформувати енергетичний сектор України. Пріоритетним напрямком розвитку в енергетичній сфері мають стати відновлювані джерела енергії. За [1] до 2035 року їх кількість має зрости до 25% від загальної кількості використовуваних джерел енергії. Для порівняння, станом на 2015 рік, із загальної кількості енергії, яка генерується на території України лише 3,6 % - з відновлюваних джерел, а саме: біомаса, біопаливо та відходи – 2%, ГЕС – 1%, термальна енергія – 0,5%, сонячна та вітрова енергія – 0,1%.

Варто зазначити, що запаси відновлюваних джерел енергії безмежні. Проте для впровадження нового, нетрадиційного способу отримання енергії необхідні висококваліфіковані кадри, які зможуть не тільки разово, за прикладом країн, які використовують подібні способи встановити установки та під'єднати їх до мережі, але й зможуть налаштувати грамотний процес використання та покращення даних способів, уніфікація їх для можливості використання повсюдно від високотехнологічних міст до рідконаселених сіл у віддалених районах України. Це, в свою чергу, зможе забезпечити безперебійне забезпечення енергією.

Окрім цього, розуміємо економічну ситуацію, яка склалась на сьогодні. Уряди переважної кількості країн та України в тому числі, розробили схему, яка без важких економічних впливів з боку держави зможе забезпечити оновлення технічної бази, яка і забезпечить збільшення кількості енергії, яка виробляється альтернативним способом. В Україні це описано законом про "Про електроенергетику" щодо коефіцієнтів "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії, який набув чинності 1 січня 2017 року.

За [2], "Зелений" тариф встановлюється для кожного суб'єкта господарювання, який виробляє електричну енергію з альтернативних джерел енергії, за кожним видом альтернативної

енергії та для кожного об'єкта електроенергетики. Тобто це означає, що даний тариф дає пільгу, яка визначається за способом продукування енергії. Це додає мотивації населенню для переорієнтації з традиційних способів опалення на нетрадиційні. Особливі умови також передбачені для підприємств (малий та середній бізнес особливо зацікавлений в цьому).

Додатково важливо звернути увагу не лише на спосіб виробництва енергії, а й на кількість. Мається на увазі кількість споживання енергії порівняно. Глобальна енергетична проблема, яка є результатом радянської схеми енергозабезпечення – в радянському союзі не звертали увагу на кількість виробленої енергії та затрачених на це ресурсів. Відповідно, про енергозбереження на території пострадянських країн заговорили на початку 2000-х. Неякісна теплова ізоляція або її повна відсутність, енергоефективні матеріали, використані під час будівництва ніяк не сприяють зменшенню теплових втрат будівлі. Основна частина теплових втрат будівлі припадає на витрати через зовнішні огорожуючі конструкції. Вирішенням цієї ситуації буде використання якісних теплоізоляційних матеріалів.

Особливу увагу хочеться звернути на складову теплових втрат, що пов'язані з інфільтрацією. При обрахунку теплових втрат важливо враховувати теплові втрати будинку пов'язані з інфільтрацією зовнішнього повітря (провітрюванням та надходженням зовнішнього повітря через нещільності). Варіантом вирішення може бути відмова від провітрювання та застосування системи вентиляції з підігрівом припливного повітря. Для удосконалення процесу та зменшення долі теплових втрат пов'язаних з інфільтрацією, нами була запропоновано застосування системи вентиляції з трьох ступінчатим нагрівом припливного повітря.

Відомі системи опалення та вентиляції будівель, в яких використовується теплота кристалізації води для підігрівання повітря взимку і теплоту фазового переходу льоду у воду для холодопостачання влітку. Ці системи комбінуються з іншими альтернативними системами або з традиційними.

При заготівлі льоду виникає нагальна потреба в ефективному зрошуванні водою вже утворених шарів льоду чи бурульок. Найпростіший спосіб розпилення води – диспергування рідини силами гравітації. Цей метод не потребує підведення електричної енергії і може бути ефективно використаний в автономних умовах, у тому числі для наморозування льоду. При цьому даний метод диспергування мало досліджений і потребує додаткового вивчення. Тому поставлена задача дослідити геометричні характеристики факелу розпилу крапель рідини при ударі струменя води об горизонтальну тверду поверхню під дією сил гравітації.

Оскільки в кліматичних умовах України найбільш прийнятним є наморозування льоду у вигляді бурульок, то доцільною є розробка конструкції льодоградирні, яка б могла одночасно

використовуватися як льодогенератор і як підігрівач повітря. Такий охолоджувач-кристалізатор води може бути ефективно застосований для підігрівання повітря перед тепловими насосами та в системах вентиляції.

При наморозуванні льоду у вигляді бурульок їх геометричні розміри постійно змінюються, що впливає на аеродинамічний опір установки, який є важливою характеристикою при виборі вентилятора. Тому поставлене завдання з'ясування залежності гідравлічного опору кристалізатора за потоком повітря від часу.

У роботі наведені експериментальні дані, на яких базуються аналітичні розрахунки реальної системи вентиляції житлового будинку з використанням теплоти кристалізації води. При цьому розроблена схема включення льодогенераторів-підігрівників повітря в дану систему теплопостачання.

1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ДИСПЕРГУВАННЯ РІДИНИ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОТИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ВОДИ

1.1 Відновлювані джерела теплоти

Наявних запасів природного газу вистачить лише на 80-120 років [3], а вугілля – на 300 років, при цьому їх вартість постійно підвищуватиметься. Тому намагання зменшити витрати первинної енергії – це головна тенденція сучасної техніки. До того ж ціна на електроенергію зростає, а законодавство обмежує використання повністю автономних альтернативних способів, таких як вітряки, сонячні панелі, що встановлені на землі і т.д. Ціна на природний газ, а особливо політична ситуація та залежність його постачання від сусідніх країн наштовхує на дії, в яких природний газ повинен використовуватися тільки для технологій, в яких без нього не можна обійтися.

Найперше до чого варто прагнути – не спалювати газ в котлах для забезпечення теплопостачання або електроенергії. Прикладом заміни газового котла може бути тепловий насос. Ці пристрої давно використовуються у світі, більше 50-ти років, проте, на території України почали використовуватись 20 років тому. Відома велика кількість систем теплопостачання з використанням теплових насосів [4], зараз у світі експлуатується більш ніж 15 млн. теплових насосів потужністю від кількох кіловат до сотень мегават, а ринок щорічного продажу складає близько мільйона установок.

Основними перевагами теплових насосів у порівнянні з традиційними системами теплопостачання є їх економічність (величина коефіцієнта трансформації тепла в середньому складає 3...5, тобто, підводячи до теплового насоса 1 кВт енергії, на виході отримаємо 3...5 кВт теплової потужності), можливість застосування в будь-якій місцевості, екологічність, безпечність.

Важливим при використанні теплових насосів є вибір «холодного» джерела. В якості «холодного» джерела для теплового насоса можуть виступати: зовнішнє повітря, вода, каналізаційні стоки будівлі, повітря вентиляційних викидів, ґрунт тощо. При використанні природних джерел низько потенційної енергії для забезпечення надійності роботи системи теплопостачання необхідно вибирати декілька «холодних» джерел, тому що їх температури змінюються по-різному протягом опалювального сезону.

Вода серед природних і техногенних джерел є найкращим низько потенційним теплоносієм. Лідером із використання води в якості низько потенційного джерела енергії є

Швеція. У Стокгольмі є тепло насосна станція потужністю 320 МВт, що використовує воду Балтійського моря з температурою 4 °С, вона розташована на шести баржах, які причалені до берега. Недоліком води є те, що в певних місцевостях її кількості не завжди достатньо.

В останній час впроваджено багато проектів теплопостачання будівель із використанням теплоти ґрунту, який тепліший за повітря в найбільш холодний період опалювального сезону [4]. У загальному випадку можна виділити два види систем використання низько потенційної теплової енергії ґрунту:

1 Відкриті – в якості джерела енергії використовують ґрунтові води, що підводяться безпосередньо до теплового насоса.

2 Замкнені (закриті) – у ґрунтовому масиві розміщуються теплообмінники, по яким циркулює теплоносій із нижчою відносно ґрунту температурою, при цьому відбувається відбір теплової енергії від ґрунту і передача її робочому тілу у випарнику ТН. Замкнені системи, у свою чергу, поділяються на горизонтальні і вертикальні.

1.2 Лід та системи заготівлі льоду

1.2.1 Фізичні властивості льоду

Лід, як тверда фаза води являє собою речовину, що широко розповсюджена в природі і широко використовується в холодильній техніці. Охолодження льодом найбільш ефективно при де централізованості чи нерівномірності споживання холоду.

Подрібнений лід завдяки розвиненій поверхні забезпечує швидке охолодження і тому його використовують у багатьох технологічних та хімічних процесах. Лід також використовують при необхідності одночасного охолодження та зволоження.

Фізичні властивості льоду наведені в табл. 1.1, вони, як і процеси затвердіння та плавлення води, достатньо вивчені для інженерної практики і по цьому питанню є достатня кількість літератури.

Лід являє собою воду (H_2O), що знаходиться при атмосферному тиску та температурі 0 °С та нижче у твердому стані.

Тетраедрична структура льоду, при якій кожна молекула води оточена чотирма іншими, відноситься до структур з малою щільністю упакування часток [5].

При плавленні льоду відбувається значне руйнування «пухкої» молекулярної структури, що говорить про відносно високу скриту теплоту плавлення і значному зменшенню об'єму. Рентгеноструктурний аналіз виявив, що при нагріванні талої води руйнування тетраедричної

структури продовжується. Цим пояснюється ріст густини води при збільшенні температури від 0 °С до 4 °С.

Таблиця 1.1 - Фізичні константи льоду (при температурі 0 °С та тиску 10^5 Па)

Показник	Одиниці	Значення	Примітка
Густина	кг/м ³	917	При зниженні температури на t , °С, густина збільшується на $1-0,00016 \cdot t$
Температура плавлення (затвердіння)	°С	0	Збільшення тиску на 10^5 Па зменшує температуру плавлення на 0,0075 °С
Теплота плавлення (затвердіння)	кДж/кг	333,5	Зниження температури льоду на 1°С зменшує теплоту плавлення на 2,095 кДж/кг
Теплоємність	кДж/(кг·°С)	2,095	При зниженні температури на значення t , °С, теплоємність зменшується на $0,00186 \cdot t$
Теплопровідність	Вт/(м·°С)	2,2	При зниженні температури на t , °С, теплопровідність збільшується на $1-0,0015 \cdot t$

Ряд аномалій води викликаний також наявністю у ній асоційованих подвійних (H₂O)₂ та потрійних (H₂O)₃ молекул. Зазвичай при температурах дещо нижче 0 °С та відбиранні тепла вода перетворюється на лід, що кристалізується у гексагональній системі, при якій полегшується взаємне ковзання окремих шарів молекул, чим пояснюється висока пластичність льоду. При охолодженні води зменшується енергія руху її частинок, які при цьому дещо взаємно орієнтуються та сприяють утворенню центрів кристалізації. Утворення центрів кристалізації зазвичай пов'язане з наявністю сторонніх домішок чи кристалів льоду у воді, біля них вода набуває властивість сильної молекулярної орієнтації, яка в умовах одnobічної дії забезпечує при температурі дещо нижче 0 °С активну кристалізацію льоду. Тепло, що виділяється при кристалізації, викликає збільшення температури до 0 °С і для продовження процесу його необхідно постійно відводити. Можливість кристалізації, що визначається температурою та орієнтуючими силами часток води у присутності домішок, залежить від

загального руху води, відстані до граничної фази, від якої відводиться теплота, від властивостей цієї фази, а також від швидкості відведення теплоти.

Виділення чи поглинання теплоти фазових перетворень води обумовлено зміною кінетичної енергії речовини при зміні його структури. Під час фазових перетворень має місце як теплообмін, так і масообмін.

Нами розглядається тільки звичайний лід H_2O , основні теплофізичні властивості якого подані у табл. 1.1. При використанні таблиці 1 слід пам'ятати, що вони відносяться до монолітного льоду з чистої води.

Фізико-механічною властивістю льоду є те, що він при повільній деформації пластичний, а при швидкій – крихкий (навіть при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Лід заготовляють шляхом механічного добування з водойм, що вимагає багато ручної роботи і витрати палива на транспортування. Існують інші способи промислової заготівлі природного льоду: заготівля з водойм; заготівля шаровим наморозуванням на площадках та комбінованим способом; заготівля наморозуванням бурульок (накопичення льоду на градирнях).

Вибір способу заготівлі льоду залежить від призначення льоду, клімату місцевості, в якій відбувається заготівля льоду, та місцевих техніко-економічних умов. Якщо водойма розміщена недалеко і можлива механізація виробничого процесу та при умові зберігання льоду в постійних льодосховищах спосіб заготівлі льоду з водойм у багатьох випадках із практичної точки зору заслуговує уваги як самостійний. Наприклад, таким він є в США та Канаді, де заготівля льоду з водойми є єдиним способом заготівлі льоду.

При більш високих температурах, тобто при температурах до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ та короткій зимі (не південніше лінії Кривий Ріг – Ростов – Алма-Ата), коли просте наморозування дає можливість отримати бунт недостатньої висоти ($1\ldots 1,5\text{ м}$), рекомендується додаткові заходи.

1.2.2 Наморозування льоду бурульками (на градирнях)

У районах із нестабільними та високими зимовими температурами: $-2\ldots -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (прикладом в кліматичних умовах України може бути Одеса) лід можливо заготовити тільки на градирнях у вигляді бурульок [6] чи, як зазначено вище, у невеликій кількості з водойм. При заморожуванні льоду на градирнях вода замерзає тонким шаром на максимально охолодженій поверхні бурульок. Цей спосіб дуже ефективний, при його використанні заморожування відбувається в декілька разів інтенсивніше, ніж при звичайному способі. Він дає можливість упродовж трьох-

п'яти діб заповнити градирню бурульками, сколоти їх та скласти у льодосховище. При відлигах може бути втрачена кількість льоду, що відповідає трьох-п'ятиденній продуктивності градирні. При подальшому похолоданні заготівля льоду може продовжуватись у звичайному режимі. Але лід у бурульках внаслідок розвиненої поверхні зберігається гірше, ніж лід у монолітному бунті чи в блоках.

Таким чином, використання того чи іншого способу заготівлі природного льоду залежить від температурних умов у період заготівлі:

- 1 при температурі січня місяця нижче -10°C допускається пошарове наморозування у чистому вигляді;
- 2 при температурі від -5°C до -10°C – пошарове наморозування з додаванням льоду;
- 3 при температурі від -2°C до -4°C – наморозування льоду у вигляді бурульок на градирнях.

Специфікою генерації льоду в Україні є те, що температура довкілля взимку в основному знаходиться в діапазоні $-3\ldots-10^{\circ}\text{C}$. Ці ж температури характерні для більшості європейських країн, тому актуальним є пошук і дослідження інтенсивних методів і апаратів для виробництва льоду і одночасного використання теплоти кристалізації (там, де це можливо і необхідно).

Аналіз першоджерел показав, що для згаданого температурного діапазону найбільше підходить технологія отримання льоду в бурульках. Для цього використовують так звані льодоградирні [6].

Приклади використання подібних систем для заготівлі льоду представлені в [7, 8].

Утворення льоду у вигляді бурульок протікає значно швидше (іноді в два-три рази і більше), ніж при всіх інших способах наморозування. Це пояснюється наявністю значної поверхні тепловіддачі, рухом води у тонкому шарі і тим, що бурульковий лід добре обдувається вітром. Цей спосіб наморозування дозволяє заготовляти лід у районах з зимовою температурою $-2^{\circ}\text{C}\ldots-3^{\circ}\text{C}$, де жодним іншим способом накопичувати природний лід неможливо.

Наморозування льоду бурульками досягається шляхом поливання водою градирень-естакад, що мають особливу конструкцію. При цьому утворюються великі (довжиною $2\ldots3$ м) бурульки-сталактити. Коли градирня заповнена бурульками, їх сколюють і складають у льодосховище, а потім поливають водою, щоб вони змерзалися одна з одною.

Основні переваги звичайних градирень естакад – низька вартість і простота; недоліком їх є змушений простій (до 50 % заготівельного періоду) під час виймання льоду, що виконується вручну.

Градирня-естакада [9] з робочим об'ємом 150 м^3 являє собою споруду з дерева, яка складається з трьох ярусів (рис. 1.2). До стійок висотою 6 м через кожні 2 м приєднані обв'язувальні рами, на які вкладені з відстанню 0,3 м між осями жердини діаметром 0,1...0,13 м. Жердини кожного ряду (яруса) перехрещуються у просторі з жердинами нижче розміщеного ряду, завдяки чому струмінь води, що падає з верхнього ярусу, розбивається об нижній, так що поверхня струменів поступово збільшується.

У верхній частині градирні розміщено зрошувальний пристрій, що складається із сітки трубопроводів зі штуцерами, на яких встановлено п'ять розприскувачів. Зрошувальний пристрій градирні огорожений щитами, що попереджують винос крапель води вітром. Трубопроводи зрошувального пристрою мають нахил у бік магістрального трубопроводу, щоб вода стікала з труб, коли її подача припиняється. Магістральний трубопровід з'єднується з утепленою (у спеціальному приміщенні) водяною колонкою. Перед запірним вентилям водопровідної колонки на магістралі встановлено спускний канал, щоб після закриття основного вентиля можна було спустити залишки води з магістралі, що є обов'язково необхідним для попередження можливості замерзання води у трубопроводах. У нижній частині градирні, як і у верхній, є відбійні щити для зменшення втрат воді від розбризкування і виносом.

На рис. 1.1 показаний загальний вигляд електрифікованої льодоградирні системи І.А. Клейменова [7, 9]. Робота даної установки відбувається наступним чином. Вода від форсунки Блюма, 8, продуктивністю 400 л/год передавальними гумовими шлангами 11 надходить у воронки 3, звідки потрапляє на металеві трубки 2, що знаходяться зовні і мають діаметр 6...12 мм та довжину 2,25 м, стікає по них тонкою плівкою і замерзає, утворюючи бурульку. Коли діаметр сталактитів, що наморозжуються, досягне 80-90 мм, нижню форсунку вимикають, вмикають верхню форсунку 9, що має продуктивність 4000 л/год, і вода починає надходити через розподільний конус 10 по передаючим гумовим шлангам усередину воронки, звідки через наявні щілини розподіляється краплями по поверхні сталактитів. Наявність віджимних щічок дозволяє регулювати роботу кожної щілини. За допомогою електропечі 13 у верхній частині градирні підтримується плюсова температура.

Як сказано вище, вода рівномірно і безперервно зрошує поверхню металевих труб і замерзає на них, створюючи бурульки-сталактити. Швидкість наморозжування сталактитів залежить виключно від температури зовнішнього повітря. Коли довжина бурульок досягає 5...6 м, то переходять до знімання льоду з градирні. Для цього нагрівальні нікелінові дротини, що

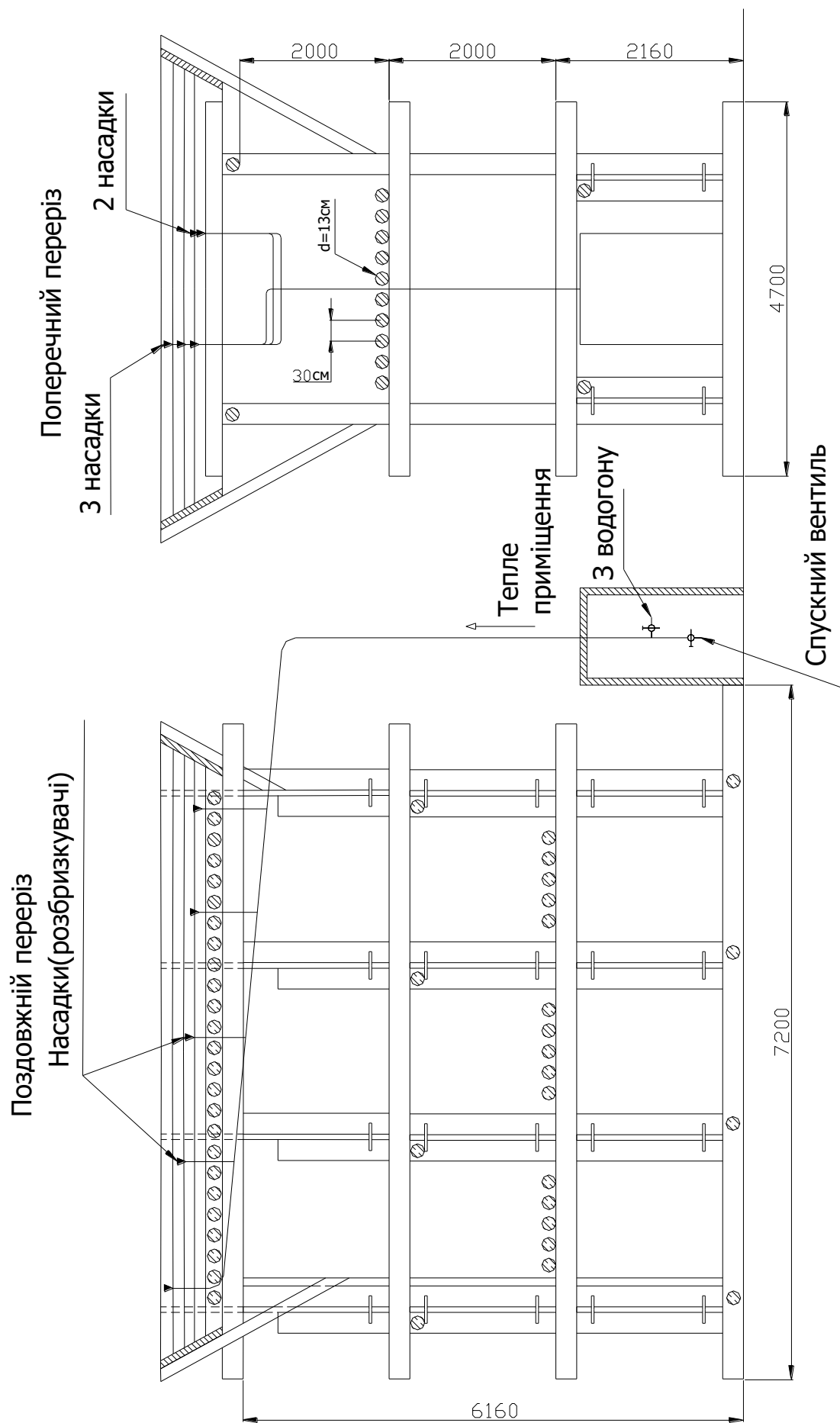


Рисунок 1.1 – Градірня-естакада

знаходяться в трубках, підключаються до електричної мережі 12. Трубки нагріваються, лід, що до них прилягає, підтає, сталактити сповзають з трубок і падають униз. Після цього їх розбивають на частини довжиною приблизно 1 м і діаметром 0,3...0,5 м. Весь процес знімання льоду триває не більше 2...3 хвилин. Включаючи всі електронагрівачі чи тільки деякі з них, лід за бажанням можна знімати відразу з усіх трубок чи посекційно. Після закінчення процесу знімання льоду процес починається спочатку, тому подача води не припиняється впродовж усього заготівельного періоду. Знімання льоду та регулювання подачі води можуть бути автоматизовані. У цьому випадку градирня не потребує постійного обслуговування та спостереження.

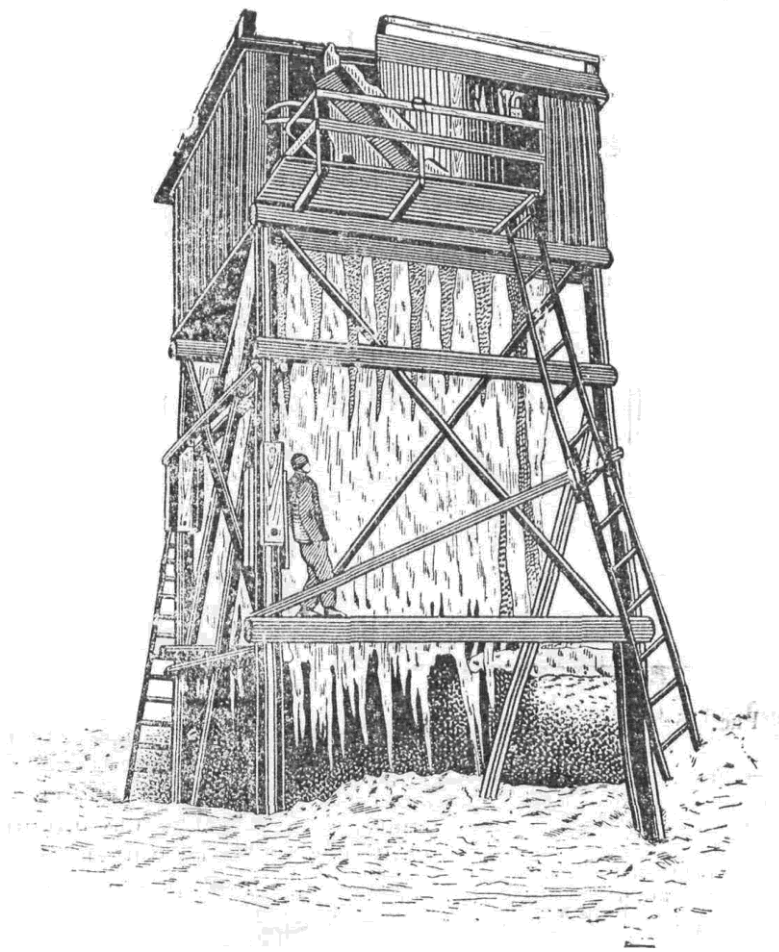


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд градирні Клейменова

Лід, знятий з градирні, накопичується в льодосховищі. Якщо льодосховище розміщене поруч із градирнею, то подачу льоду до нього можна механізувати шляхом встановлення нахилених площин чи жолобів.

З 1 м² площі основи градирні впродовж сезону можна отримати близько 50...100 т льоду. Роблячи висновки по аналітичному огляду систем заготівлі льоду, можна сказати, що:

1 З аналізу видно, що на території України та багатьох європейських країн специфікою процесів генерації льоду є те, що температура довкілля взимку в основному коливається в межах $-3...-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому пошук і дослідження інтенсивних методів і апаратів для виробництва льоду є актуальним.

2 Найбільш ефективним відомим способом заготівлі льоду у вищезгаданих температурних межах ($-3...-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) є наморозування бурульок. Більшість установок, що використовувались до 60-х років минулого століття, працювали саме за таким принципом, а їх дослідження та детальне вивчення не проводились. З цієї причини установки були або дуже складними конструктивно, або потребували багато часових і людських ресурсів для обслуговування.

3 Для розробки високопродуктивних льодоградирень як з горизонтальними, так і з вертикальними насадками, що працюють за бурульковою технологією, необхідно проводити їх експериментальні дослідження. Це дозволить після обробки дослідних даних отримати емпіричні залежності для визначення продуктивності установок, розглянути можливі варіанти насадок та зробити аналіз енергетичних та економічних показників виробництва та акумулювання льоду.

4 В умовах обмеженості традиційних енергоресурсів необхідно використовувати нетрадиційні та відновлювані джерела енергії, одним із яких є теплота кристалізації води. Доцільність використання теплоти кристалізації води для підігрівання атмосферного повітря перед випарником теплового насоса і в системах вентиляції будівель показана в роботі [3].

5 Для ефективного використання теплоти кристалізації води необхідно більше уваги приділяти її аналітичному і експериментальному дослідженню. У результаті таких досліджень мають бути отримані емпіричні формули, які описують складний процес тепло масообміну в кристалізаторах-охолоджувачах води. Це дозволить надалі розробляти нові конструкції льодоградирень, які використовуються одночасно і в якості генератора льоду з метою подальшого його використання в системах холод постачання, і в якості підігрівника холодного повітря в системах тепlopостачання.

1.3 Використання теплоти кристалізації води для підігрівання повітря

У розглянутих вище системах заготівлі льоду при наморозуванні льоду теплота, що виділяється при кристалізації води, викидається в атмосферу і жодним чином не використовується для підігрівання повітря.

Відомі праці [3, 10] з підігріву повітря для систем вентиляції теплотою кристалізації. Протягом 60...100 днів температура повітря в Україні стає нижчою за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дає можливість виробляти лід і підігрівати повітря теплотою кристалізації, що виділяється. При цьому температура повітря після охолоджувачів – кристалізаторів води – може досягати $-5...+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3]. Витрати води при цьому значно нижчі, ніж при використанні ентальпії охолодження води. Використання теплоти кристалізації води зменшує витрати електроенергії за опалувальний сезон на 12...17 %, а в найбільш холодні місяці – до 35 %.

Існує запатентована «Система опалення будинку І.І. Пуховаго» [11]. У системі реалізується спосіб опалення будівлі під час морозів, коли використовується два температурні рівні теплоносіїв. При цьому передбачено розташування охолоджувачів-кристалізаторів контактного або поверхневого типу в буферній зоні, що утворена пасивною системою сонячного опалення, яка являє собою зашклену поверхню, та стіні будівлі. Використання теплоти кристалізації води в десятки разів зменшує витрату води в порівнянні з системами опалення, що використовують теплоту ґрунту. Пасивна система сонячного опалення також дозволяє вдень використовувати енергію сонця для підігрівання повітря в буферній зоні.

Застосування низько потенційної теплоти кристалізації води дозволяє підняти температуру в буферній зоні і завдяки цьому зменшити теплові втрати будинку завдяки зменшенню різниці температур між житловою і буферною зонами. Пропонується використовувати переважно контактні теплообмінники, в яких коефіцієнти тепловіддачі вищі, та поєднувати буферну зону з пасивною системою сонячного опалення.

Недоліком згаданого способу є те, що не завжди можливе створення стаціонарних буферних зон через використання прилеглої території, а також з архітектурних та інших міркувань. Крім того, видалення льоду з твердих елементів вимагає затрат часу та енергії. Згаданий спосіб дозволяє отримати температуру в буферній зоні приблизно $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (від $-2...-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+2...+3\text{ }^{\circ}\text{C}$) в залежності від температури зовнішнього повітря.

1.4 Основні способи диспергування рідин

Наморожування льоду пошаровим способом та у вигляді бурульок вимагає розпилення води на певну площу поверхні: на вже утворений шар льоду чи на насадки. При цьому охолодження води покращується при збільшенні площі контакту води з повітрям, тобто при більш дрібному розпиленні. Але при розпиленні води на дуже дрібні краплі можливий винос крапель потоком повітря (або вітром) за межі установки. Тому для ефективного використання

наявної води необхідно ретельно підійти до вибору способу розпилення рідини та розпилювального пристрою.

У [12] наведена класифікація способів розпилення рідин, в основу якої покладені відомі раніше способи підведення енергії, що витрачається безпосередньо на диспергування, та нові способи, розроблені останнім часом.

Розпилення рідини широко використовується в градирнях промислових підприємств, теплових і атомних електростанцій [13], де існує нагальна потреба в охолодженні великих витрат води, що досягається збільшенням площі контакту повітря і води шляхом її диспергування на дрібні краплі.

У градирні вода подається на зрошувачі з водорозподільних пристроїв, які являють собою систему дерев'яних або залізобетонних лотків, у дні яких є отвори зі вставленими в них трубочками (гідравлічними насадками). Струмені води, що витікають з насадок, падають на розбризкувальні тарілочки і під дією сил гравітації розбиваються на велику кількість крапель, утворюючи фонтани бризок, що зрошують розташований нижче зрошувальний пристрій. Таке розпилення води є прикладом гравітаційного диспергування рідин і є найпростішим для реалізації. Гідравлічні насадки виготовляють із фарфору чи пластмаси. Їх розміщують із таким розрахунком, щоб факели бризок, які створюються сусідніми тарілочками, перекривали один одного, що досягається на відстані 1...1,25 м. У випадку використання водорозподільних пристроїв із нержавіючих труб вода розбризкується над зрошувачем за допомогою спеціальних низьконапірних сопел.

У градирнях використовуються зрошувальні пристрої трьох типів [13]:

1 Крапельні. Дані зрошувачі складаються з великої кількості дерев'яних рейок трикутного чи прямокутного перерізу, розміщених горизонтальними ярусами. При падінні крапель з верхніх рейок на нижні утворюються факели дрібних бризок, що створюють велику поверхню контакту з повітрям.

2 Плівкові. Ці зрошувачі складаються зі щитів, що встановлюються вертикально чи під невеликим кутом до вертикалі. По поверхні щитів стікає вода, утворюючи плівку товщиною 0,3...0,5 мм. Щити виконують із окремих дошок, розміщених горизонтально на певній відстані одна від одної. Використовують також і суцільні щити з матеріалів, які добре змочуються, наприклад з азбоцементних пресованих листів товщиною 6...8 мм. Для створення суцільної плівки на нижній кромці щита виконують трикутні вирізи (фестони), які зосереджують воду, що стікає, в окремі струмені, які нібито розтягують плівку по поверхні щита. При стіканні плівки зі щитів окремими струменями зменшується опір проходу повітря під зрошувачем.

3 Комбіновані крапельно-плівкові зрошувачі.

1.5 Дослідження параметрів диспергації води ударом об тверду суху і змочену поверхні

За [14] було виявлена закономірність: розпилення води краще відбувається при підвищеній шорсткості поверхні. Це пояснюється труднощами виходу повітря з-під розплющеної краплі в момент удару. Частка диспергованої рідини при ударі дорівнює приблизно 40 % від витрати води в падаючому краплевидному струмені, що розширюється. Радіуси розлітання крапель залежать від висоти падіння та витрати води з сопла.

У [15] результати дослідження диспергації використовувались при зрошенні дротяних насадок з метою отримання бурульок. Тобто задля намерзання бурульок, які можуть бути використані для підігріву повітря теплотою кристалізації.

Зростання бурульок інтенсифікується за оптимальної витрати води (густини зрошення). Теплота кристалізації йде на підігрівання повітря від температур морозного атмосферного повітря до температури $+2^{\circ} - (-3)^{\circ} \text{C}$. Така температура повітря після кристалізаційного апарату, наприклад у випадку теплового насосу, що працює на атмосферному повітрі, дозволяє збільшити коефіцієнт трансформації на 20–30% в порівнянні з використанням невідігрітого атмосферного повітря.

В системах вентиляції можна економити до 50 % традиційної енергії на підігрівання свіжого повітря в офісах, виробничих приміщеннях, наприклад фармацевтичних цехах, та фермах (особливо в курятниках), де потрібна висока кратність вентиляції.

1.6 Залежність максимального радіуса розлітання вторинних крапель від відстані, від поверхні удару до нижче розташованих площин.

Радіус розлітання крапель швидко зростає зі збільшенням висоти падіння крапель. В [15] наведені дослідження в яких значення змінювались від $R=240$ мм при вимірюванні на одному рівні з поверхнею удару ($\Delta h = 0$ мм) до $R = 360$ мм при $\Delta h = 500$ мм. При подальшому віддаленні від поверхні удару крапля падає вже практично у вертикальному напрямку. Було зроблено висновок, що при висоті більше ніж 450-500 мм при зрошуванні поверхонь, розташованих нижче від поверхні удару, немає сенсу розміщувати насадки для зрошення.

Професором Пуховим І.І, було проведене дослідження зрошення паралельних дротяних насадок з утворенням на них бурульок. В даному експерименті, насадки розміщувалися нижче від поверхні удару на висоті 240 мм. Витрата рідини змінювалась від 0,58 до 1,1 г/с. На поверхні удару біля бокових граней було 6-8 центрів формування крапель, які падали на насадки і формували найдовші бурульки у центрі. Переважна кількість рідини, що замерзала в бурульках, була в зоні радіусом менше 170 мм, що видно по довжині бурульок. У вторинних краплях є біля 50-70% поступаючої води.

Можемо зробити висновки:

- 1 У форсунках проблематично добитися витрат, менших за 1 г/с.
- 2 У випадку, коли можливо уникнути використання традиційної енергії для розпилювання води і подальшого утворення бурульок найкращим є використання сили гравітації при напорах до 300 мм вод.ст.
- 3 Використання плоского щільового отвору в гравітаційних розпилювачах більш ефективно, ніж циліндричного, через розривання струменя на 6-12 цівок.
- 4 При температурах довкілля, нижчих за -3°C , забезпечується охолодження води до $0-1^{\circ}\text{C}$ у гравітаційних розпилювачах та у форсунках малої продуктивності з утворенням бурульок на нижче розташованих насадках.
- 5 В ударному розпилювачі слід встановлювати зрошувачі або виконувати сопла (отвори) на відстані між ними 300-400 мм (для вирівнювання витрати по площі) і нижче від поверхні удару на 300-350 мм.

Окрім дослідження форсунок для ропилання води, важливою частиною роботи є дослідження поверхні контакту, форми, матеріалу.

Відомі роботи, в яких досліджувалися динаміка зіткнень поодиноких крапель води з гідрофобними поверхнями, температура яких менша і більша 0°C та з кутами нахилу від 0 до 30°C [16].

1.7 Утворення бурульок на горизонтальних насадках

Утворення бурульок на горизонтальних насадках із рейок і дроту досліджувалось у [15, 17]. У [7] лід добували в промислових масштабах, поливаючи з форсунки рейки з дерева і видаляючи бурульки механічно вручну. В [15] за рахунок використання дроту лід видалявся пропусканням електричного струму через цей дріт. Для акумулювання льоду без його видалення з насадки спосіб із бурульками не є продуктивним на початкових стадіях утворення

бурульок, коли їх поверхня теплообміну з повітрям є малою через невелику довжину. Площу теплообміну можна збільшити через використання плівкового потоку по вертикальних насадках. Авторами було виявлено, що у даному випадку наявна значна початкова поверхня плівки, з якої лід не потрібно знімати у випадку використання його для акумулювання холоду — він періодично розтає. Також було зроблено висновки, що на нижньому краю насадки також будуть утворюватися бурульки, які додатково збільшать площу теплообміну з повітрям.

Такого виду акумулятор, при використанні в системах кондиціонування може покривати функцію осушення або зволоження повітря. Фазовий перехід води в лід вимагає подачі води з малою витратою відповідно до інтенсивності теплообміну з повітрям, тому виникає проблема диспергації невеликих мас води і її розподілення поверхнею вертикальних насадок.

Відомі дослідження, в яких вивчалась динаміка зіткнення поодиноких крапель води з гідрофобними поверхнями, температура яких менша і більша $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та з кутами нахилу від 0 до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [16]. Ці дослідження проводились з метою розроблення поверхонь, які не були б схильні до заledenіння.

1.8 Вивчення гідродинамічних параметрів при течії та змочуванні суцільних металевих вертикальних пластин і сіток

В [14] вивчались гідродинамічні параметри при течії та змочуванні суцільних металевих вертикальних пластин і сіток з різних матеріалів. Дослідження проводились з метою створення акумуляторів холоду та підігрівачів повітря теплотою кристалізації води. На вертикальних пластинах, які змочуються краплями води, було створено дві експериментальні установки. Змочування вертикальних пластин відбувалося за рахунок диспергування води ударом об тверду поверхню, рис. 1.3.

Авторами було зроблено висновки: краплі, які утворювались після удару об поверхню розлітались і осідали на вертикальних пластинах чи сітках, а саме 40% від загальної витрати. Також було зроблено висновки стосовно кількості води, яка залишається на поверхні удару та витрати води на виході з ємності. Різниця між величинами показувала кількість диспергованої води ударом. Нерозпилена вода стікала з ударної поверхні та була використана для кристалізації. За рахунок контакту з водою та льодоутворення повітря підігрівалось. 40 % води при розбризкуванні знаходиться у підвішеному стані, у повітрі, тобто при додаткових умовах,



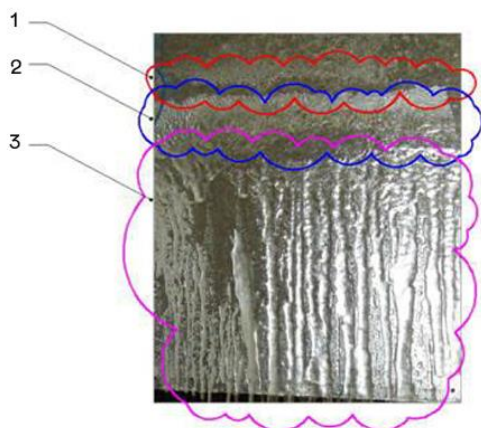
Рисунок 1.3 – Диспергування води ударом об тверду поверхню

використання вентилятора або при наявності вітру можливий факт уносу. При температурах нижчих за 10°C вода буде швидко замерзати, навіть у підвішеному стані, це треба враховувати при використанні способу.

1.9 Зрошування сталених оцинкованих пластин.

В [14] було проведено дослідження на поверхні вертикальних оцинкованих пластин. Авторами описана типова картина, яка наведена на рисунку 1.4.

На пластині чітко видно 3 характерні зони:



1 – зона суцільного змочування висотою від 100 до 150 мм, змочення відбувалось від крапель з ударної поверхні. На цій ділянці відбувається формування суцільної плівки води, а при подачі холодного повітря – суцільний шар льоду.

2 – перехідна зона, у ній спостерігалось формування окремих струмків, перехід до струменів;

3 – у цій зоні можна чітко виділити окремі струмені (в літературі трапляються назви “цівки” та “рівулеті”).

Рисунок 1.4 – Намороження рівчакоподібних струменів та оцинтованих сталених пластин

Ця картина є характерною, вона спостерігалась при різних витратах і температурах води та повітря. При від'ємних температурах навколишнього повітря краплі охолоджувалися до температури кристалізації і відбувалося їх замерзання на вертикальній пластині.

1.10 Зрошування сіток

В [14] з метою оцінки впливу матеріалу, на якому формуються струмені, автором Пуховим було проведено дослід, вертикальні пластини з гладкого металевго листа були замінені на металеву та полімерну сітчасті поверхні. Даний експеримент показував, що характер течії схожий на описаний вище при використанні суцільних пластин. Для проведення експерименту із заміною проміжків сітки на менші була використана марля. Проведений дослід свідчив про те, що при невеликих витратах води вся поверхня, як і в попередньому експерименті змочується з утворенням рівчаків (струменів). При цьому густини зрошення в 20–30 разів були меншими від відомої мінімальної при подачі на суху поверхню вертикальних труб і пластин.

Варто відмітити, що в розрахунках Пухового І.І. була зазначена така інформація при утворенні льоду з двох сторін марлевої насадки, середня інтенсивність теплообміну при віднесенні до повної площі насадки становить близько 29 Вт/(м²·К). Було зроблено висновки, що теплота передається не тільки конвекцією, а й випромінюванням та випаровуванням.

1.11 Висновки до розділу 1

1 З аналізу видно, що на території України та багатьох європейських країн специфікою процесів генерації льоду є те, що температура довкілля взимку в основному лежить в діапазоні -3...-10 °С, тому пошук і дослідження інтенсивних методів і апаратів для виробництва льоду є актуальним.

2 Лід активно використовували для холодопостачання до середини 20 ст. Були досліджені нетрадиційні способи використання холоду.

3 Найпростішим способом добування льоду раніше вважався добування льоду на водоймах та транспортування його до місця призначення.

4 Найбільш ефективним відомим способом заготівлі льоду в температурних межах -3...-10 °С є заморожування льоду у вигляді бурульок на градирнях. Більшість установок, що використовувались до 60-х років минулого століття, працювали саме по такій схемі, а їх

дослідження та детальне вивчення не проводились. З цієї причини установки були або дуже складними конструктивно, або потребували багато часу та людських ресурсів на обслуговування.

5 Існує велика кількість різних методів диспергування рідин. Найпростішим для реалізації є метод гравітаційного розпилення води, який до того ж не потребує затрат електричної та механічної енергії.

6 Вимірювання радіуса розлітання крапель та визначення факелу розпилення є складною задачею і тому потребує додаткового вивчення.

7 У процесі наморозування важливим є використання теплоти фазового переходу, яке можна застосовувати для підігріву повітря.

8 Перед подачею води на горизонтальні насадки воду охолоджують приблизно до $+3 - +4$ град Цельсія шляхом її розпилення.

9 Для невеликих установок доцільним є використання розпилення води методом удару, що досліджено декількома авторами.

10 Відомі дослідження максимального радіусу розлітання вторинних крапель, але при ударі біля 60 % води залишається на поверхні удару і її охолодження потребує додаткових досліджень.

2 ГІДРОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКІВ У ВИГЛЯДІ КРАПЕЛЬ ПРИ ВИТІКАННІ ВОДИ ЧЕРЕЗ ОТВІР І УДАРІ ПЕРВИННОГО СТРУМЕНЯ ОБ РІЗНІ КОНСТРУКЦІЇ

В цьому розділі описуються дослідження впливу конструкції поверхні удару на формування вторинних крапель, які розлітаються після удару первинного потоку крапель, які утворюються при витіканні води з отвору невеликого діаметра.

Експеримент було поділено на декілька частин: експеримент у приміщенні лабораторії та в умовах атмосферного морозного повітря з утворенням бурульок.

Експерименти в лабораторії ставилися з метою вибору геометричних характеристик поверхонь удару для розпилення і охолодження води. В якості поверхонь використовувались:

1 Широка металева оцинкована поверхня у вигляді П-подібної конструкції без перфорації і з перфорацією. Верхня площа була розбита на декілька ділянок з різними розмірами отворів, що в свою чергу показало різні результати.

2 Металевий профіль у вигляді двоскатного даху (експеримент проводився на ділянці, яка найкраще показала себе в попередньому дослідженні). Дах утворений згинанням П-подібного профілю симетрично центру по ряду попередньо просвердлених вздовж пластини отворів діаметром 2 мм. Кут нахилу до горизонту 10° градусів.

3 Т-подібний дерев'яний брусок.

4 Паралельні металеві оцинковані П-подібні профілі. Що утворювали щілини різної ширини.

5 Паралельні вертикальні пластини з різною відстанню між пластинами. Експеримент в атмосферних умовах включав в себе дослідження охолодження первинних крапель та дослідження намерзання вторинних крапель у вигляді бурульок і наростів на насадках з труб і інших профілях. Після виконаних в лабораторії експериментів було обрано ряд досліджень, які були б більш ефективними.

Інтенсифікація процесу охолодження для наморожування бурульок відбувались на таких поверхнях:

1 Металеві паралельні вертикальні пластини.

2 Циліндрична сітчаста форма.

2.1 Розробка і дослідження різних конструкцій поверхонь удару для розпилення води ударом об тверду поверхню

2.1.1 Розробка способу розпилення води об поверхню з отворами

Авторами Пуховий І.І. та Карнаух О.О. було подано патент [17] на корисну модель - спосіб зрошення водою насадок методом удару води об тверду поверхню. Даний спосіб відноситься до процесів тепло- і масообміну між газами і рідиною і може бути використаний для зрошення насадок різної орієнтації, розташованих нижче поверхні удару, з утворенням льодяних бурульок для заготівлі льоду і підігрівання повітря теплотою замерзання води. Також даний спосіб можна використовувати для контактного охолодження і нагрівання води.

Відомим є спосіб зрошення водою вертикальних насадок при ударі струменів води, що витікають із сопел під тиском [19]. Частина води, що не розпилилась, залишається на поверхні удару і падає з неї краплями вниз. При цьому на поверхні удару залишається 60-80 % води, яка при зрошенні горизонтальних насадок для отримання бурульок не встигає охолотитись до 0 С.

Для зменшення витрати води при зрошенні горизонтальних і інших насадок, розташованих нижче поверхні удару, використано її низьконапірну гравітаційну подачу [20]. Цей спосіб є найбільш близьким за технічною суттю до запропонованого. Із отвору струмінь води витікає у вигляді конуса з первинним розпиленням крапель і падає на тверду поверхню шириною трохи більшою діаметра рідинного конуса. Недоліком способу є те, що потрібно значно піднімати над поверхнею удару посудини з отвором у дні і опускати вниз від поверхні удару горизонтальні насадки. Таким чином збільшуються габарити кристалізатора.

Задачею корисної моделі, яка була запатентована є зменшення габаритів зрошувача, інтенсифікація процесу охолодження води і підвищення рівномірності зрошення горизонтальних насадок.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб зрошення водою горизонтальних насадок методом удару води об тверду поверхню включає процес витікання води з направленою вниз отвору посудин чи труб та удар конусоподібного струменя об лінійну поверхню.

Новим у даному способі є те, що в поверхні удару по периферії виконують дискретні щілинні отвори, паралельно з поверхнею удару розміщують, по обидва боки, поверхні удару вертикальні або нахилені пластини для збирання розпилених крапель і спрямування їх вниз на насадки.

Також, новим є те, що дискретні отвори в поверхні удару розміщують у шахматному порядку. Крім того, новизна, також, полягає в тому, що пластини виконують перфорованими або із сітки, а нижню кромку пластин роблять зубчатою.

Спосіб реалізують наступним чином. Вода падає на поверхню удару. Вона розподіляється на дві частини. Ту, що розбризкується, уловлюють пластини і точно направляють на насадки вниз. Перфорація пластин збільшує поверхню теплообміну і сприяє рівномірній течії води вниз. Зубці на пластинах також сприяють рівномірній витраті води по довжині пластини.

Отвори в поверхні удару розділяють частину води, що тече через боки пластини на додаткові краплинні потоки, сприяючи рівномірному зрошенню насадок і охолодженню води.

При використанні способу в процесах кристалізації води в бурульках можна взимку підігрівати повітря для систем вентиляції і теплових насосів, а влітку використовувати лід для холодопостачання.

2.1.2 Дослідження способу розпилення води ударом об поверхні з отворами і щілинами

2.1.2.1 Опис установки для проведення гідродинамічних дослідів при позитивних температурах і визначення витрати води в залежності від напору

Установка являла собою робочий стенд, з декількох ярусів. Стенд знаходився у приміщенні лабораторії, рис. 2.1. На першому (найвищому) ярусі розміщувалась ємність з водою (резервуар, висота водяного стовпа варіювалась від 100 мм вод. ст. до 225 мм рт. ст.). Другий ярус – площа, на якій розташовувалась поверхня, об яку відбувався удар первинних крапель. На третьому ярусі розташовувалась насадка, яка в кінцевому експерименті мала забезпечити ефективне та швидке охолодження.

У даному експерименті фігурували три види крапель: первинні, вторинні та краплі третього порядку. Первинні краплі – це краплі, які утворюються при витіканні з сопла. Під час виходу потоку рідини з сопла відбувається розширення потоку. Первинні краплі вдаряються об поверхню удару (в даному експерименті поверхнею удару виступали: горизонтальна поверхня удару у вигляді П-подібного профілю, двоскатна дахоподібна поверхня, дерев'яний Т-подібний брусок, та інші) та перетворюються на вторинні краплі та краплі третього порядку. Вторинні краплі – це краплі, які утворювались після удару об поверхню. Краплі третього порядку утворюються після удару об насадку основна задача якої – охолодження води.



Рисунок 2.1 – Стенд в лабораторії

В усіх ітераціях експерименту за основу бралась описана вище установка рис 2.1. Варіювались: кількість ярусів, поверхні удару (горизонтальна поверхня удару у вигляді П-подібного профілю, двоскатна дахоподібна поверхня, дерев'яний Т-подібний брусок, та інші.), висота рівня води в баку, а відповідно і витрата.

2.1.2.2 Витрата води через отвір в ємності з водою

В різних ітераціях експерименту рівень води в ємності складав $H_1=100$ мм, $H_2=155$ мм, $H_3=225$ мм.

Визначення середньої витрати відбувалось за формулою:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

V – об'єм води, який було затрачено;

t – проміжок часу, протягом якого виконувався експеримент.

Об'єм води, визначався заміром витрати води за проміжок часу, за допомогою мірного стакану з ціною поділки 10 мл. Дані, отримані під час експерименту було занесено в таблицю.

За даними, що наведені в таблиці 2.1 було побудовано графік, представлений на рисунку 2.2. Лінія, що апроксимує дослідні точки являє собою пряму, яку можна описати лінійним рівнянням.

Таблиця 2.1 – Залежність витрати води від висоти водяного стовпа

№ дослідів	Висота водяного стовпа $H_{\text{вод}}$, мм	Витрата G , мл/с
H_1	100	0,45
H_2	155	0,52
H_3	225	0,64

$$G = k \cdot H_n + b \quad (2.2)$$

На основі експериментальних даних було створено рівняння:

$$G = 0,0014 \cdot H_n + 0,31$$

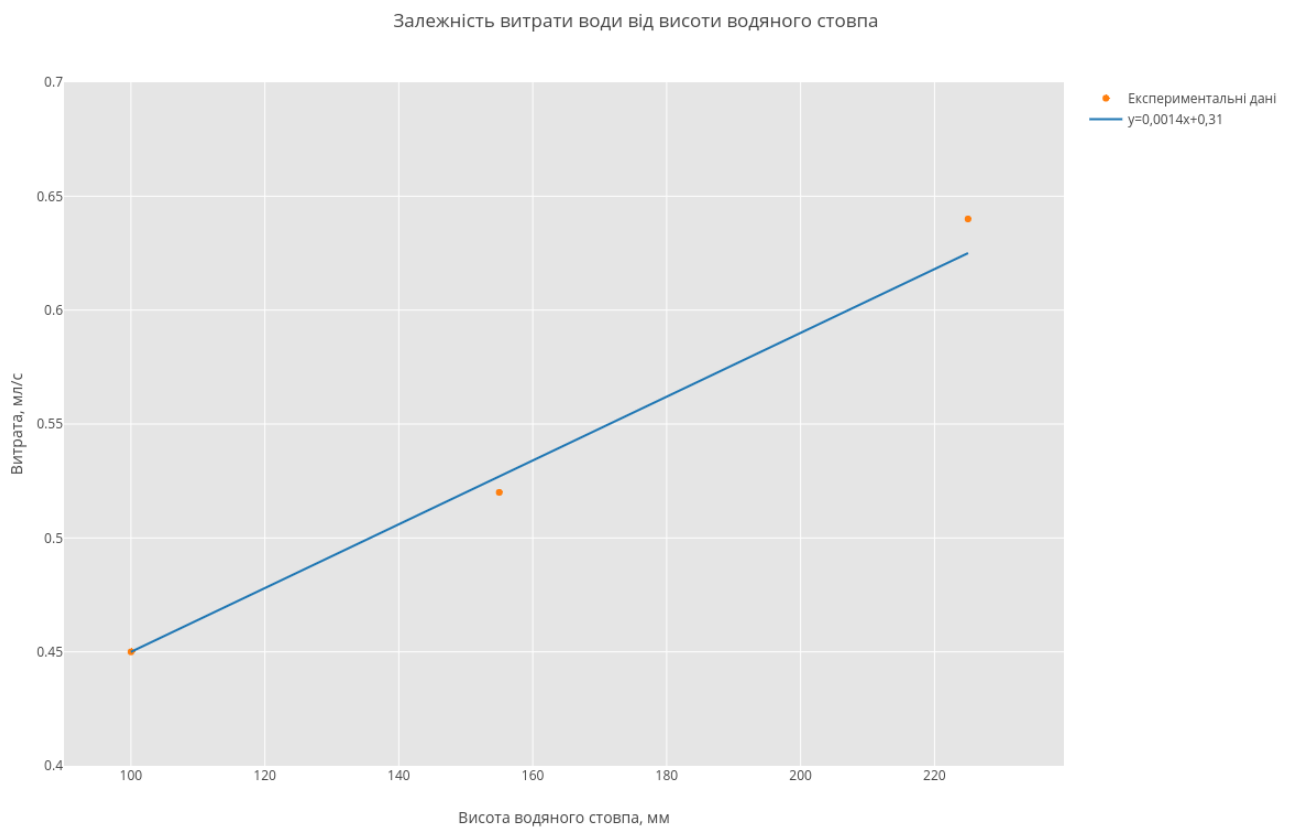


Рисунок 2.2 – Витрата води в залежності від напору

2.1.2.3 Удар струменя об плоску горизонтальну перфоровану поверхню

Для експериментів, які використовують спосіб розпилення води об поверхню з отворами була використана поверхня удару у вигляді горизонтальної площини. Поверхня була виготовлена на основі П-подібного профілю, рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Плоска поверхня удару з плямами води після удару первинного струменя з витратою 0,52 мл/с, при висоті падіння струменя $H_p=430$ мм.

Під час першого досліджу «Удар струменя об плоску горизонтальну поверхню» в якості експериментального об'єкту використовувалася поверхня удару - конструкційний елемент з отворами різного діаметру. Було виконано ряд дослідів з використанням цих отворів та зроблений висновок, який з підібраних варіантів є найкращим для експлуатації даної установки.

Конструкційний елемент було поділено на 3 частини, продемонстровано на рисунку 2.3 (отвори різного діаметру та способу розташування). У першому секторі використовувались отвори діаметром $d=2$ мм, отвори були розміщені у три ряди, по центру – основний ряд, та в шахоподібному порядку два наступні ряди. В другому секторі використовувались отвори діаметром $d=3$ мм, отвори розташовувались по центру та перед загином П-подібного профілю, в третьому секторі – отвори діаметром $d=4$ мм, які розташовувались по центру та перед загином П-подібного профілю. Відстань між отворами в усіх трьох випадках складала 15 мм.

Удар струменя об сектор плоскої горизонтальної поверхні з отворами $d=2\text{мм}$.

Перший дослід проводився на першому секторі конструкційного елементу (поверхні удару). Розмір досліджуваного отвору складав $d=2\text{ мм}$. Водяний напір становив 155 мм , висота падіння ($H_{\text{пад}}$)= 430 мм . Витрата води $0,52\text{ г/с}$. (таблиця 1). Вода витікала у вигляді конуса з гострим кутом, на розширення.

В першу чергу був знайдений діаметр розлітання первинних крапель (плями на поверхні удару). Геометрично, рівняння розширення можна описати, побудувавши прямокутний трикутник та застосувавши тригонометричні залежності, продемонстровано на рис. 2.4.

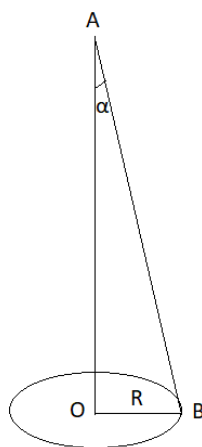


Рисунок 2.4 – Геометричне зображення розширення потоку рідини після виходу з ємності

Відстань BO – радіус плями, яка утворилась після падіння з висоти AO . Відповідно, можемо застосувати тригонометричні залежності та знайти тангенс кута розлітання. Використовуючи експериментальні дані першого експерименту, в якому висота падіння крапель, відрізок $AO=430\text{ мм}$, а діаметр плями після удару становив $R=19\text{мм}$. Відповідно:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{OB}{AO} \quad (2.3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{19}{430} = 0,0442$$

$$\alpha = 2,31^\circ$$

Порівняємо ці дані з [21]. Магістром Новіком під керівництвом І.І. Пухового було проведено дослідження радіуса розлітання первинних крапель у струмені води в залежності від висоти. Дослідження відбувалось для первинних крапель, тобто для тих, на які розлітається потік води при витіканні з отвору в нижній частині ємності зрошувального пристрою до

розпилення об тверду поверхню. Дослідження проводилося з використанням ємності зрошувального пристрою з витратою води 0,58 г/с, при цьому поверхня удару не використовувалася. Зазначимо, що порядок чисел один. Оскільки, в моєму експерименті витрата води становить 0,52 г/с, отже можемо порівнювати дані, отримані під час наведених досліджень.

На різних відстанях від точки витікання рідини з ємності до нижче розташованих площин виконувалося вимірювання радіуса площі, яку займають на даних площинах первинні краплі, на які розривається струмінь води.

На графіку рисунку 2.5. наведені значення отримані мною та позначені символом на основі роботи Новіка, сам графік на рисунку 2.5 можна описати лінійним рівнянням:

$$r = 0,0303h - 3,5778 \quad (2.4)$$

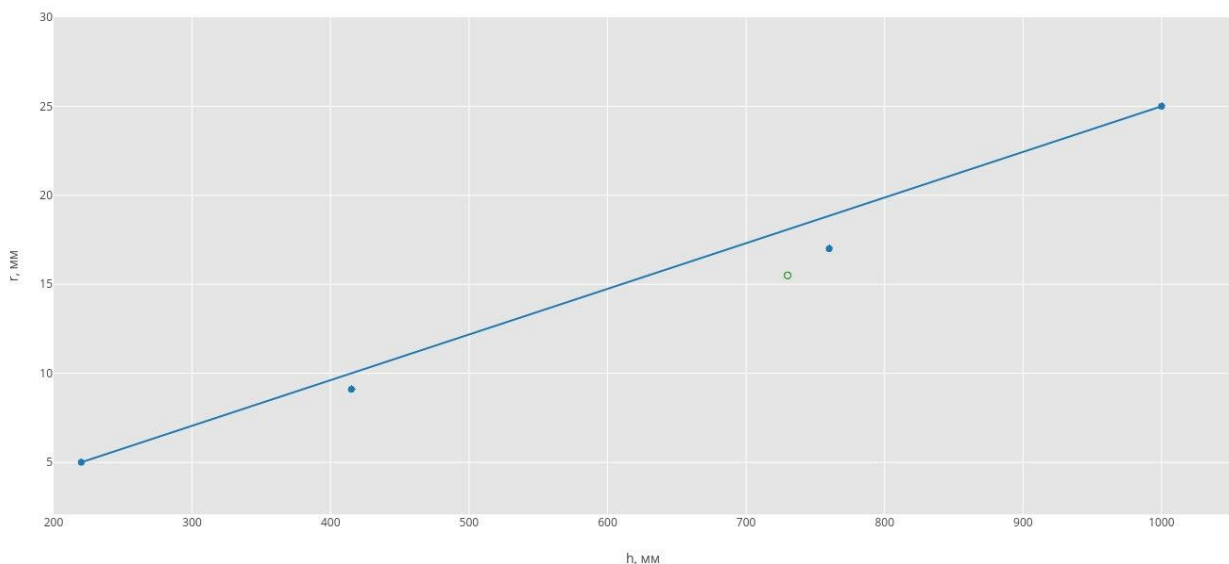


Рис. 2.5 – Порівняння результатів експерименту з [20]

Потрібно звернути увагу, що наша точка знаходиться на тій самій висоті падіння, але в експерименті дещо менша витрата. У [21] витрата 0,58 г/с, порівняно з експериментом 0,52 г/с. Це пояснює факт розташування нашої точки нижче.

Враховуючи фактичне співпадіння результатів, можна використовувати для розрахунку діаметру плями (діаметру розлітання) за залежністю 2.4. Рівняння розширення дає розуміння залежності максимального радіуса розлітання крапель та розміру первинної краплі від висоти падіння краплі.

Далі, проведені дослідження удару об різні поверхні. У першій ітерації першого дослідження при ударі крапель об поверхню конструкційного елементу радіус первинної краплі становив 19 мм. Також відбувався розлітання вторинних крапель. Максимальний радіус розльоту ($R_{\text{розл.мах}}$) становив 240 мм.

Удар струменя об сектор плоскої горизонтальної поверхні з отворами $d=2\text{мм}$, висота падіння краплі 430 мм. При ударі крапель від первинного розпилювання об отвори $d=2\text{мм}$, поверхневий натяг води об незмочену поверхню не дозволяв краплі скапувати в отвір. До моменту повного змочування конструкційного елементу вода не проникала через отвори. Лише по центру конічного струменя, спостерігалось проникнення води через один отвір, тобто пробивання отвору струменем води.

Визначення діаметра третинних крапель, що стікають з поверхні удару під дією сили гравітації. В першу чергу було вирішено знайти діаметр крапель, які стікають з П-подібної поверхні. При цьому, було враховано, що на поверхні залишається 60% від первинної витрати. Для експерименту було вибрано витрату води, 0,52 г/с. Відстань від поверхні удару становила 430 мм. Для того щоб визначити об'єм крапель (масу), з врахуванням наступного експерименту (на поверхні залишається 60% води, решта - розпилюється), див. нижче в розділі 2. Таким чином, витрата води з третинними краплями складає

$$G_{\text{зр}} = 0,6 \cdot G \quad (2.5)$$

$$G_{\text{зр}} = 0,6 \cdot 0,52 = 0,312 \text{ г/с}$$

З врахуванням витрати, дізнаємось масову витрату за 60 с

$$G_{\text{зр}} = 60 \cdot G_{\text{зр}} \quad (2.6)$$

$$G_{\text{зр/хв}} = 60 \cdot 0,312 = 18,72 \text{ г/хв}$$

Знаємо кількість крапель за хвилину, отже можемо знайти масу однієї краплі, поділивши витрату на кількість крапель

$$m = \frac{G_{\text{зр/хв}}}{N_{\text{кр}}} \quad (2.7)$$

$$m = \frac{18,72}{144} = 0,13 \text{ г}$$

В одному кубічному сантиметрі 1000 мм^3 , $1000 \cdot 0,13 = 130 \text{ мм}^3$

Оскільки густина води приблизно 1000 кг/м^3 , то приймаємо, що маса краплі дорівнює об'єму краплі. Крапля має сферичну форму, відома формула обрахунку об'єму сфери

$$V = \frac{1}{6} \pi D^3 \quad (2.8)$$

Отже, можемо записати

$$D = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 130}{\pi}} = 6,27 \text{ мм}$$

Збільшення кількості центрів утворення крапель приводить до того, що вони рідше покидають поверхню і, залишаючись на поверхні деякий час, мають можливість охолодження повітрям.

Удар струменя об сектор плоскої горизонтальної поверхні з отворами $d=2\text{мм}$, висота падіння краплі 760 мм . В даній варіації було збільшено висоту падіння первинних крапель ($H_{\text{пад}}$) $= 760 \text{ мм}$. Оскільки висота водяного стовпа у баку не змінилась та становила $H_1=155 \text{ мм}$, то і витрата залишалась сталою $G_1=0,52 \text{ г/с}$.

Після удару первинних крапель об поверхню відбувається формування вторинних дрібних крапель та формування потоку, що стікає з поверхні удару, у вигляді періодично зростаючих крапель.

Було проведено дослідження витрати води і діаметра великих крапель. Кратний час для вимірювання кількості крапель було встановлено – 1 хвилина. Дослід повторювався декілька разів разів для чистоти експерименту. Дані зведено до таблиці 2.

Таблиця 2.2 - Кількість крапель, що були утворені при витраті води $0,52 \text{ г/с}$ та висоті падіння 730 мм .

№ досліду	Час, с	Кількість крапель, шт
1	60	160
2	60	132
3	60	140
x	60	144

де x – середнє значення кількості крапель за 3 досліди.

В даному експерименті максимальний радіус розльоту становив 257 мм , радіус плями краплі після удару, усереднено, становить 36 мм .

Удар струменя об сектор плоскої горизонтальної поверхні з отворами $d=2$ мм, висота падіння краплі 260 мм. Даний експеримент показав, що крапля скапує лише в одному місці, з одного отвору, тобто, у випадку використання сектору з отворами $R=2$ мм, весь потік крапель концентрується в одному місці та відривається одна крапля.

У даному випадку максимальний радіус розльоту $R_{\text{розл. Max}}=115$ мм, радіус розльоту краплі при ударі становить 17 мм. На основі даного дослідження було зроблено висновки про вплив висоти падіння краплі на інтенсифікацію процесу охолодження та залежність радіусу розльоту краплі від висоти.

Удар струменя об сектор плоскої горизонтальної поверхні з отворами $d=3$ мм, висота падіння краплі 430 мм. Другий дослід проводився на другому секторі конструкційного елемента. Розмір отвору складав 3 мм. Водяний напір становив 155 мм, висота падіння ($H_{\text{пад}}=430$ мм). При ударі краплі об поверхню конструкційного елемента відбувався розліт крапель, максимальний радіус розльоту ($R_{\text{розл. max}}=240$ мм, при цьому радіус розльоту краплі при ударі становив 19 мм.

У даному випадку розмір отвору конструкційного елемента пропускав вторинні краплі, які утворювались після удару в декількох місцях. Дана частина експериментальної насадки показала пропускну здатність та більше підходила для використання її в наступній ітерації даного експерименту.

Удар струменя об сектор плоскої горизонтальної поверхні з отворами $d=4$ мм, висота падіння краплі 430 мм. Дослід проводився на третьому секторі конструкційного елемента, в даному випадку розмір отвору складав $R_{\text{отв}}=4$ мм. Водяний напір у даному випадку становив 150 мм, висота падіння краплі становила ($H_{\text{пад}}=430$ мм).

При ударі краплі об конструкційний елемент, максимальний радіус розлітання становив 165 мм, а радіус розлітання краплі 11 мм. Витрата через конструкційний елемент (центральный отвір) становила 13 крапель за 15 секунд.

Розбризування, у даному випадку, після повного змочування, відбувається з центрального та двох сусідніх отворів. При цьому витрата з лівого та правого отвору не дуже відрізняються одна від одної. В першому випадку (лівий отвір) становить 3 краплі за 15 секунд, у другому випадку (правий отвір), 2 краплі за 15 секунд.

2.1.2.4 Визначення долі рідини, що залишається після удару на поверхні удару і тече гравітаційно (третинні краплі)

На плоскій П-подібній металевій поверхні нами було проведено дослід при умові, висота падіння 430 мм і витраті 0,52 г/с. Методика дослідження полягала в тому, що кількість води, що залишалась на поверхні удару вимірювалась об'ємним методом за допомогою мірного стакана. Знаючи загальну витрату води і масу залишеної на поверхні води був знайдений відсоток витрати, що йде на розпилення вторинних крапель, вона склала 40%.

В [22], встановлено, що на поверхні удару залишається від 80% до 60% рідини, а 40% розпилюється з вторинними краплями. В цій роботі досліді проводились на злегка увігнутій поверхні, що нахилена до горизонту, з метою вимірювання витрати води, що залишається на поверхні.

На жаль, в нашому експерименті витрата води була меншою в декілька разів, а саме 3-10 раз, тому при однаковій висоті падіння струменя в нашому досліді на поверхні удару залишається менше рідини, що можна пояснити тим, що частина вторинних крапель не вилітають назовні через дещо вигнуті краями вверх частини конструкції.

Таблиця 2.3 - Відсоток води, що диспергується при ударі об тверду поверхню металевої фарбованої пластини, що дещо вигнута вверх краями; кут нахилу пластини $\alpha = 2^\circ$ (злегка нахилена в одну сторону для стікання води)

№ дослідів	Витрата води $m_{вх}$, г/с	Витрата води що стікає з поверхні удару $m_{удар}$, г/с	Витрата води, що розпилюється від удару $m_{розп.}$, г/с	Відсоток води, що розпилюється b , %
1	1,17	1,05	0,12	10,26
2	1,97	1,77	0,20	10,15
3	2,80	2,43	0,37	13,21
4	4,07	3,40	0,67	16,47
5	4,70	3,80	0,90	19,15
6	5,80	4,27	1,53	26,38
7	7,00	4,37	2,27	32,43

У дослідженні [22] був відзначений вплив шорсткості. Менше води залишається на пінопластовій та дерев'яній поверхнях удару. Порівняємо результати нашого експерименту, що

проводився на П-подібній оцинкованій пластині з металевою фарбованою пластиною, що дещо вигнута вверх краями вверх. На нашу думку, зменшення кількості води, що розпилюється було викликано тим, що поверхня удару була увігнута і бокові її елементи частково затримували вторинні краплі, що розлітаються.

Висновок з експериментів. Порівнюючи ділянки з отворами 2 мм, 3 мм, 4 мм, можемо зробити висновок, що найбільшу площу теплообміну крапель з повітрям можна досягти, при діаметрі отворів 3 мм. При цьому при даному діаметрі, а саме 3 мм, через отвори, які розташовані по центру та з двох сторін проходить рідина та зривається у вигляді крапель. Додатково, вода, яка не встигла пройти в отвори зривається з паралельних бокових пластин. Кількість крапель збільшується за рахунок збільшення кількості способів їх падіння. Під час перебування на поверхні і падіння краплі охолоджуються, отже, охолодження крапель перед кристалізацією при кінцевому експерименті на морозі буде інтенсивнішим.

2.1.3 Розпилення води ударом об поверхні з отворами і щілинами дахоподібної форми

Після проведення ряду дослідів з конструкційним елементом П-подібної форми, було прийнято рішення змінити форму конструкційного елемента – вигнути його у вигляді даху. Рисунок 2.6 та 2.7

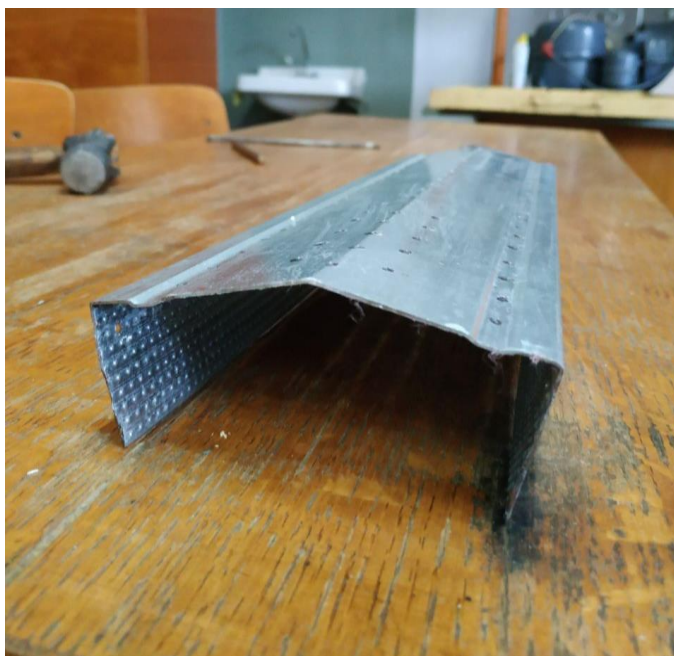


Рисунок 2.6 – Поверхня удару, що виконана у формі двоскатного даху, кут нахилу становить

10°

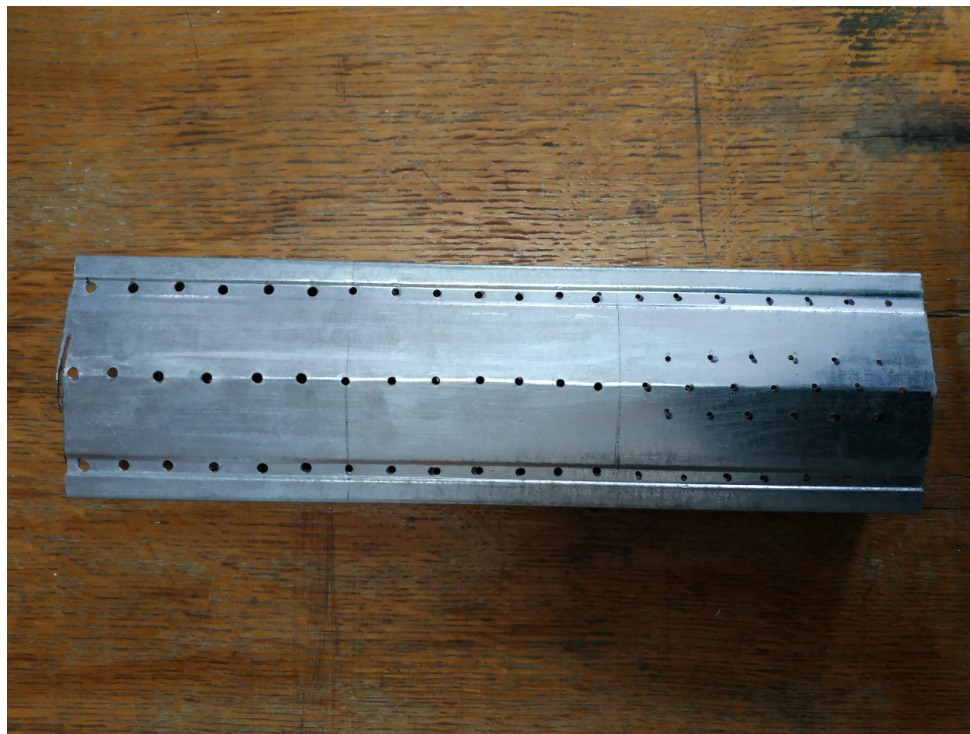


Рисунок 2.7 – Поверхня удару, що виконана у формі двоскатного даху, кут нахилу становить 10° з іншого ракурсу

У даному випадку, удар крапель відбувається на центральне повздовжнє ребро - верхівку дахоподібного профілю. У ребрі по центру П-подібного профілю знаходився ряд отворів, відстань між отворами 15 мм. При ударі об ребро струмінь крапель попадав на перфоровану площину і частково на не перфоровану ділянку. Якщо центр конусоподібного струменя попадав на отвір, то відбувалось пробивання струменя, це означає, що в конусоподібному струмені більша витрата води по центру.

Основною особливістю, в порівнянні з ударом об плоску П-подібну поверхню було те, що рідина, тече гравітаційно вниз по нахиленим поверхням. Витрати води не вистачає, щоб змочити всю поверхню, тому вода тече окремими рівчачками між якими існують сухі ділянки. Зауважимо, що ці сухі ділянки можуть слугувати як ребро, для відведення теплоти від рівчачків.

На рисунку 2.8 видно утворену від рідини пляму на поверхні удару. Якщо на горизонтальній поверхні вода проникала через отвори, що знаходяться в канавці, висотою 1 мм, і не могла перетекти через верх, то у даному випадку, є нахил поверхні, а саме 10° градусів, відповідно, вода змогла переливатися на нижні нахилені поверхні. Тепер вода має можливість текти, як по внутрішній, так і по зовнішній поверхні зігнутого П-подібного профілю.

Так як на горизонтальній поверхні, удар приходився на отвір, то вода періодично проникала під поверхню. Рисунок 2.8 ілюструє розподіл плями по поверхні.



Рисунок 2.8 – Вигляд змоченої дахоподібної поверхні

Дахоподібна конструкція виконана з нахилом 10 градусів до горизонту.

Починаючи досліджувати рух крапель по дахоподібному конструкційному елементу, можна зробити висновок, що вода не стікає в отвори на ребрі (якщо лише не відбувається пробивання), а стікає по внутрішній стороні стінки. Витрата вторинних крапель при відриванні від площини при напорі 225 мм (витрата первинних крапель становила 0,52 мл/с), та висоті падіння 430 мм становила 104 краплі за хвилину.

Для уточнення способу руху води по конструкції була виконана процедура дослідження руху потоків води за допомогою аркуша паперу. Змочування відбувалось не повністю, утворювались струмені води, які стікали у канавках. Відстань між струменями, які переходили в краплі становила 15 мм-32 мм, рисунок 2.9.

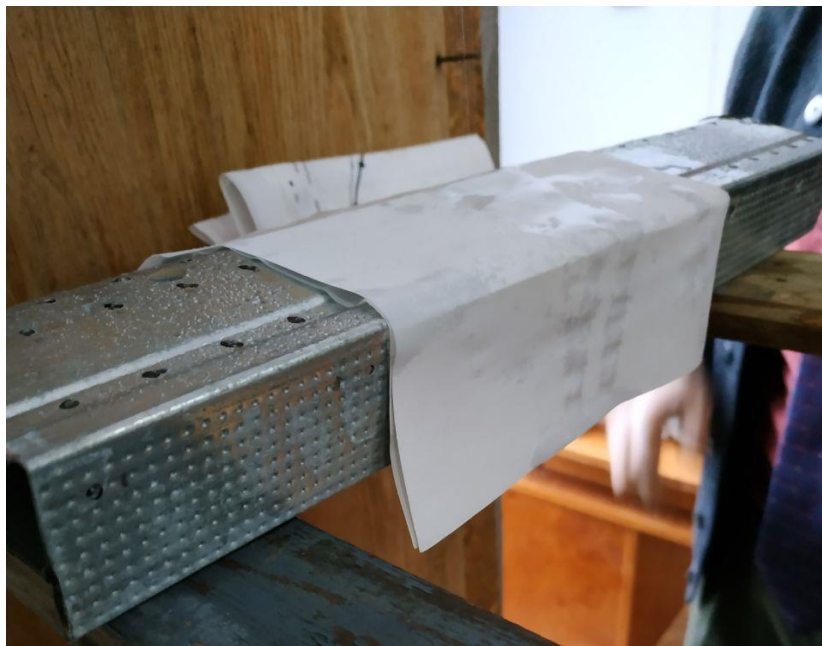


Рис. 2.9 – Дослідження руху потоків води на поверхні у формі двоскатного даху за допомогою аркуша паперу

2.1.4 Дослідження розпилення води ударом об паралельні металеві оцинковані П-подібні профілі, що утворюють щілину між собою

З метою порівняння поверхонь удару з отворами і поверхонь удару із щілинами було проведено дослідження удару об два оцинковані профілі відстань між якими змінювалась (рис. 2.10)



Рис 2.10 – Поверхня удару у вигляді двох оцинкованих профілів

При ударі об достатньо широку щілину, вода текла по внутрішнім сторона П-подібних елементів з шириною, що дорівнювала діаметру плями від удару.

2.1.5 Дослідження розпилення води ударом об паралельні металеві пофарбовані пластини

З метою зменшення висоти падіння струменя, яка не забезпечує достатнє охолодження було запропоновано використати додаткову поверхню теплообміну у вигляді вертикальних паралельних пластин.

Вода з витратою 0,45 мл/с подавалась на конструкцію з профілів, відстань між якими 5 мм та 10 мм, яка розташовувалась на відстані 0,42 м від ємності, тобто висота падіння крапель з отвору в напірній посудині складала 0,42 м. Вода, падаючи, вдарялась об верхівки паралельних та скочувалась вниз по пластинам, рисунок 2.11.

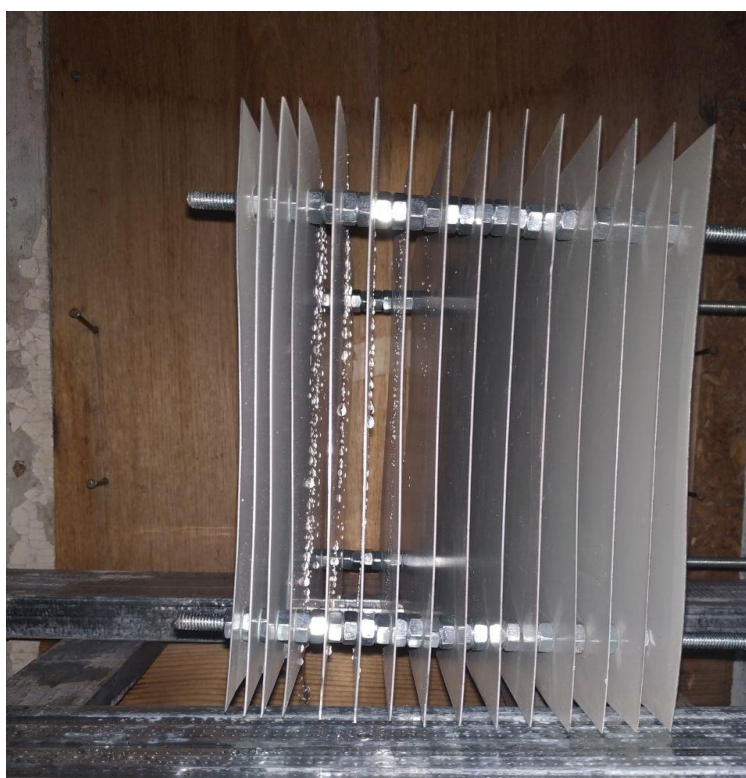


Рисунок 2.11 – Вигляд пластин під час удару струменя, що падає з висоти 430 мм – 220 мм = 210 мм. Радіус розлітання вторинних крапель 90 мм. Центр удару знаходився між другою і третьою пластинами з лівої сторони

Відбувалось розпилення води на паралельні пластини. Оскільки в попередніх експериментах розбризування води було негативним фактором, оскільки краплі не вловлювались, то в даному випадку краплі після розбризування затримувались на паралельних пластинах та стікали, під час цього вони можуть охолоджуватися, що дозволяє зменшити висоту падіння струменя. В майбутньому, при виконанні експерименту на морозі – скоєння крапель сприятиме додатковому охолодженню.

За формулою з [20] розрахуємо діаметр первинного струменя:

$$r = 0,0303h - 3,5778 \quad (2.4)$$

$$r = 0,0303 \cdot 210 - 3,5778 = 2,78 \text{ мм}$$

Тобто, діаметр близький до 6 мм, але завдяки удару, ширина потоку на пластинах стає рівною 50 мм в місці падіння струменя.

Первинні краплі при ударі мали діаметр розпиленого конуса 50 мм, проте після удару – розпилювалась на 112 мм. Важливим зауваженням є те, що розбризкування при напорі 225 мм, відбувалось у вигляді декількох крапель, наглядно нагадуючи форсунку. Розбризкування відбувалось в момент удару краплі об металеву пластину, крапля стікала вниз, залишаючи по собі дрібні краплі, рисунок 2.11.

2.1.6 Дослідження розпилення води ударом об дерев'яний Т-подібний брусок

Конструкційно, дерев'яний брусок був приєднаний до дерев'яної основи у вигляді Т-подібної фігури, рисунок 2.12.



1 – Поверхня удару первинної краплі, дерев'яна Т-подібна конструкція; 2 – Основа Т-подібної конструкції, по якій відбувається стікання води; 3 – Крапля, що формується під силою тяжіння;

Рисунок 2.12 – Дерев'яний брусок Т-подібної форми, змочений водою після удару об нього крапель

Розмір бруска становив 520 мм в довжину, приблизно третя частина бруска змочувалась водою при ударі. Ширина верхньої частини бруска становила 50 мм, висота основи – 32мм. Брусок зображено на рисунку 2.12.

Удар, після якого відбувалося розбризкування приходився на верхню частину бруска. Краплі води, які утворювалися на поверхні удару потрапляли на нижню горизонтальну поверхню. Завдяки тому, що з вертикальної частини Т-подібного профілю вода текла під дією сил тяжіння, плівка на горизонтальній ділянці не ставала товстою, бо вона рухалась до центру. (Чим товстіша плівка, тим більше ймовірність відриву краплі). Такий профіль дає можливість точно зрошувати насадку невеликої ширини. Змочувалась вся поверхня бруска, проте скапування відбувалось в двох точках, де кількість води була надлишковою. Поверхневими силами вода утримувалась плівкою за дерев'яному бруску, краплі утворювались, концентруючись в двох точках. Відрив крапель відбувався з інтенсивністю 88 крапель за хвилину. Експериментальні дані наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Експериментальні дані кількість вторинних крапель, що відривались з Т-подібного дерев'яного бруска

№ досліду	Час, с	Кількість крапель, шт
1.	60	88
2.	60	86
3.	60	90
x	60	88

Порівнюючи результати з результатами стікання крапель с П-подібного профілю, кількість крапель є меншою, при тій самій витраті. Це означає те, що краплі мають більший розмір. Слід також зауважити, що дерев'яні поверхня має більшу шорсткість, і відсоток вторинних крапель вищий, ніж третинних.

2.2 Дослідження удару крапель води об поверхні удару в умовах негативних температур довкілля з утворенням бурульок на насадках

2.2.1 Удар об верхівки паралельних пластин

Експеримент проводився 22 лютого 2019 року у дворі біля корпусу номер 5. Після проведення ряду експериментів, було зроблено висновки стосовно того, яку насадку для первинного розбризкування крапель використовувати, а також, на якій поверхні виконувати наморозжування бурульок. Отже, з виконаних експериментів, найкращим варіантом для охолодження стала поверхня, виконана з паралельних металевих пластин. Також прийшли до висновку, що для наморозжування бурульок треба використовувати – площину у вигляді двоскатного даху.

Експеримент проводився на відкритій місцевості, була виконана експериментальна установка, яка складалась з основи (2 стільці), ємності з водою (вода водопровідна, температура 10 градусів Цельсія), поверхні удару первинних крапель, поверхні намерзання бурульок. Температура повітря становила -6 градусів Цельсія, швидкість вітру становила 6 м/с (з поривами місцями до 8 м/с), установка була розташована на протязі, це дозволило інтенсифікувати процес охолодження та замерзання.

Розпилення води відбувалось з баку, який розташовувався на відстані 230 мм від поверхні удару. Поверхнею удару слугувала конструкція з паралельно розташованих металевих пластин. Відстань між пластинами становила 5 мм. Паралельно розміщені паралельні пластини слугували додатковою охолоджуючою ланкою. Вода, падаючи, вдарялась об верхівки паралельних пластин, та скочувалась вниз по пластинам, частково намерзаючи знизу пластин бурульками, рисунок 2.13. Протидіяти намерзанню води на пластинах і утворення бурульок можна шляхом збільшення витрати води. Оскільки, конструкція вимагає того, аби охолоджена вода замерзала на насадках.

Оскільки експеримент проводився на відкритій місцевості, то мав місце винос утворених після удару об кромки пластин краплин. Ці краплі спостерігались на відстані до 150 мм від місця удару походу вітру (на рисунку 2.14 – зліва направо). Без вітру краплі розташовувались на відстані 90 мм від центру удару.



Рисунок 2.13 – Охолодження крапель води на поверхні удару з паралельних металевих пофарбованих пластин



Рисунок 2.14 – Бурульки, які утворюються в результаті переохолодження рідини на поверхні удару

Кінцевою насадкою для утворення бурульок слугувала описана вище конструкції була площа, виконана у вигляді двоскатного даху. Кут нахилу до горизонту складав 10 градусів. На даній конструкції відбувалось намерзання бурульок.

Дослід тривав 1 годину 10 хвилин. За цей час, за даних умов, на насадці утворились бурульки довжиною 35-72 мм, поверхня удару, яка виступала як додаткова поверхня охолодження води, складалась з паралельних пластин, намерзли бурульки довжиною 11-32 мм.

Намерзання на дахоподібній насадці відбувалось (як досліджувалось в першій частині) з боків насадки, тобто, бурульки більшого розміру розташовувались на кінцях. Центральна частина конструкції, а саме зігнутий дах приймав менше води, намерзання відбувалось менш інтенсивно. По центру удару була зафіксовано ряд невеликих бурульок, довжиною до 25 мм. Отвори після чого були запломбовані льодом і подальше зростання цих бурульок не відбувалось.

2.2.2 Дослідження утворення льоду в бурульках при ударі води об поверхню з уловлюванням вторинних крапель вертикальними пластинами

В патенті, описаному вище, передбачено уловлювання вторинних крапель паралельними вертикальними пластинами. Для експерименту була встановлена одна паралельна вертикальна пластина з однієї сторони. На цій вертикальній поверхні була закріплена сітка з марлі для додаткового охолодження води, що стікає вниз.

Установка складалась з каркасу, зверху якого установлювалась ємність з водою що мала отвір по центру. Під поверхнею удару розташовувалась труба з пластика, що слугувала насадкою, на якій утворювався лід з води, що стікала вниз.

Була створена установка за [23], зображена на рисунку 2.15.

Вода розпилювалась з витратою 4-5 г/с з висоти 1024 мм. Вдаряючись об дерев'яний брусок, вода розбризкувалась в радіусі 350-450 мм. Розпилення відбувалось з тієї сторони, де відсутню вертикальна уловлююча пластина. Частина розпилених крапель ударились об вертикальну уловлюючу пластину, на якій була закріплена марля, як матеріал, що виконує роль сітки. Основний улов на себе марля, утяжена знизу алюмінієвою вставкою. Відбувалось неповне змочування марлі, зображене на рис. 2.16. Утворювались циліндричні льодяні елементи з відстанню між собою – 25 мм – 35 мм.



Рисунок 2.15 – Експериментальна установка для дослідження утворення льоду на поверхні удару з уловлюванням вторинних крапель



Рисунок 2.16 – Вигляд марлі з утвореними льодяними сталактитами та трубної насадки

Відстань між цівками води залежала від розташування марлі від центру удару води об дерев'яний брусок, рисунок 2.16. Ближче до центру удару на марлю попадало більше води, тому відстань між цівками зменшувалась. Відповідно по косій кількість води зменшувалась.

Вода, краплями стікала з замерзлих цівок та попадала на нижче розташовану горизонтальну трубу з пластмаси, де замерзала також у вигляді окремих льодяних утворень. Труба, діаметром 100 мм, частково охолоджувалась з середини. Оскільки труба була горизонтальною, то можна прогнозувати, що коефіцієнти тепловіддачі – низькі. Тепловий потік всередину труби був незначним.



Рисунок 2.17 – Вигляд установки з іншого ракурсу

Після виконання експерименту прийшли до висновку, що за для ефективнішого використання установки та збільшення площі заморожування, а відповідно і теплообміну, варто замінити дерев'яний брусок на сталеві пірамідо- подібні пластини трикутної форми, із заокругленими кінцями, для забезпечення прямого стікання незамерзлої рідини.

Шляхом використання переваг цієї форми та за умов підбору правильного температурного режиму передбачається наморозування льоду у формі бурульок.

Внаслідок зміни форми пластини, яка буде приймати на себе основний контакт з водою, зміниться поверхня змочування. Відповідно кількісно збільшиться площа змочування, та площа контакту води для наморозування бурульок. Воду, охолоджену при стіканні, можна подавати повторно для розбризкування. Вода при цьому буде подаватись тоненькою струєю, а не краплями, як вже розглядалось попередньо, при більшій витраті, що забезпечить безперервний потік, який буде розподілятися по всій формі насадки.

2.3 Висновки до розділу 2

1 Досліджено утворення первинних і третинних крапель, що падають на поверхню удару і стікають з неї для різних конструкцій поверхні удару.

2 Первинний струмінь складається з окремих крапель, що при падінні утворюють конусоподібний факел, діаметр якого був знайдений експериментально. Порівняння наших експериментів з літературними даними показало співпадіння.

3 Знайдено діаметр крапель, що стікають з П-подібної поверхні удару – складає біля 6мм.

4 Досліджені поверхні удару з отворами, щілинами, П і Т-подібного профілю. Серед поверхонь з отворами найкращі характеристики має поверхня з отворами 3 мм.

5 Досліджено відсоток води, що залишається на поверхні удару і тече гравітаційно вниз (третинні краплі). Літературні дані, проведені на іншій конструкції ударної поверхні мають вищий відсоток води, що затримується на поверхні. Не дивлячись на те, що витрата води і висота її падіння були вищими.

6 Використання Т-подібного профілю показало, що вода з горизонтальної поверхні підсмоктується до вертикальної ніжки і відривання крапель від горизонтальної поверхні не спостерігалось. Вся вода текла по вертикальній поверхні, що дає можливість забезпечувати змочування вузьких продовговуватих насадок.

7 Експериментальне дослідження в умовах негативних температур проведено при ударі води об верхівки паралельних вертикальних пластин, що сприяють додатковому охолодженню води з метою зменшення висоти падіння струменя.

8 Вторинні краплі можна уловлювати за допомогою вертикальних пластин, що розташовуються на деякій відстані від поверхні удару.

9 Уловлені на вертикальній пластині краплі води утворювали на сітці з марлі паралельні сталактити, розділені сухими ділянками. Відстань між сталактитами складала 25 мм – 25 мм.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ПОВІТРЯ В МОДЕЛІ КРИСТАЛІЗАТОРА З БУРУЛЬКАМИ

3.1 Створення дослідної моделі та методика її дослідження

Проведено дослідження аеродинамічних процесів, що мають місце в кристалізаторі, за допомогою відповідної моделі установки, створеної на ЕОМ. Метою моделювання було встановлення залежності гідравлічного опору установки від часу її роботи. Для створення моделі кристалізатора з бурульками на горизонтальних насадках було використано програмний продукт SolidWorks, а для дослідження аеродинамічних процесів в установці – FloWorks.

Побудована за допомогою програмних засобів SolidWorks спрощена модель кристалізатора, розміри якої відповідають габаритам реального підігрівача повітря з використанням теплоти кристалізації води, має вигляд, показаний на рисунку 3.1.

Дана модель складається з корпусу та двох ярусів горизонтальних насадок з утвореними на них бурульками.

Корпус має внутрішні габарити $920 \times 500 \times 2200$ мм. У нижній його частині на вузьких бокових поверхнях один навпроти одного виконані два прямокутні отвори розміром 460×190 мм для входу повітря. На верхній грані льодогенератора розташований отвір розміром 600×300 мм для виходу потоку повітря. Площа поперечного перерізу корпусу моделі становить $0,46 \text{ м}^2$.

Загальна довжина горизонтальних насадок установки становить 20 м. Було прийняте рішення розташувати по 10 насадок у кожному з ярусів. Тобто довжина кожної насадки становить 1000 мм. Діаметр насадок приймався рівним діаметру бурульок, утворених на них. Крок між насадками становить 40 мм, а відстань між ярусами дорівнює 1050 мм.

Льодяна маса утворена бурульками, які, для спрощення побудови моделі, являють собою циліндричні тіла, що своїми верхніми частинами розміщені на насадках. На рис. 3.1 зображений льодогенератор-підігрівач повітря перед скиданням льоду до льодосховища при тривалості робочого циклу 8 год. Довжина бурульок у цей момент часу дорівнює 1000 мм, а діаметр – 18,5 мм (дані взяті з табл. 3.2 при значенні $\tau = 8$ год.). Відстань між осями бурульок у напрямку вздовж насадок складає 20 мм, що відповідає експериментальним даним, отриманим у попередньому розділі. Кількість бурульок у кожному ярусі моделі становить 480 шт. – по 48 шт. на кожній насадці (маса льоду приблизно 227 кг).

При даних геометричних розмірах швидкість повітря в перерізі, що проходить по бурульках, становила для даного моменту часу 1,51 м/с, а у вхідних та вихідних патрубках – 6,1 м/с.

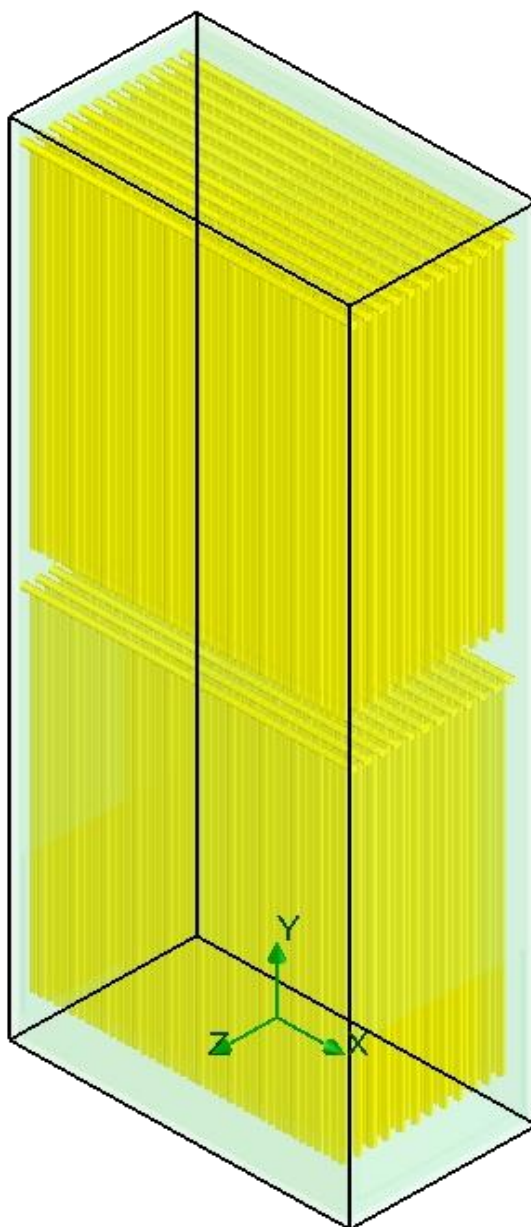


Рисунок 3.1 - Модель реального підігрівача повітря перед скиданням льоду до льодосховища

Але розрахунок такої моделі потребує дуже великої кількості комп'ютерних та часових ресурсів і не можливий при використанні звичайного персонального комп'ютера. Тому необхідно було зменшити дану модель таким чином, щоб її можна було досліджувати на персональному комп'ютері, не витрачаючи на кожний експеримент дуже багато часу. При цьому гідравлічний опір потоку повітря нової моделі має відповідати втратам тиску в моделі, зображеній на рисунку 3.1.

Було вирішено досліджувати один ярус кристалізатора і при цьому зменшити його поперечний переріз. Довжина бурульок не була змінена, оскільки вона впливає на значення лінійних втрат тиску при поздовжньому омиванні циліндричної поверхні.

Спочатку було проведено дослідження зменшеної моделі яруса кристалізатора, яка містила три насадки і дев'ять бурульок – по три на кожній насадці. Була визначена площа поперечного перерізу кристалізатора, яка становила $0,0096 \text{ м}^2$, і обчислене відношення площ поперечного перерізу реальної установки (рис. 3.1) та даної моделі, що дорівнювало 47,9. Саме у стільки разів була зменшена витрата повітря ($0,695 \text{ кг/с}$), що подавалася до кристалізатора. Таким чином, швидкість руху повітря в перерізі даної моделі залишалася рівною швидкості в перерізі реальної установки, і умови обтікання бурульок потоком повітря можна вважати аналогічними. Але при збільшенні кількості бурульок до 12 шт. (і відповідно пропорційного збільшення витрати) гідравлічний опір кристалізатора відрізнявся від отриманого при попередньому розрахунку значення приблизно на 20...30 % у залежності від моменту часу, для якого проводився розрахунок. Тому дослідження такої моделі не може бути визнане задовільним.

Надалі кількість бурульок поступово збільшувалася, а після проведення кожного дослідження фіксувалася різниця тисків на вході та виході з моделі. Метою таких попередніх досліджень було встановлення значення площі поперечного перерізу моделі, при якому втрати тиску в ній вже практично не залежать від кількості бурульок, що припадає на даний переріз.

Було з'ясовано, що при кількості бурульок 40 шт., які розташовані на чотирьох насадках, гідравлічний опір даної моделі відрізняється лише на 2 % від значення, отриманого при проведенні комп'ютерного розрахунку при кількості бурульок, що дорівнює 60 шт.

Отже, для скорочення часу комп'ютерного розрахунку була прийнята модель кристалізатора, що складається з одного яруса з чотирма насадками, на яких утворено 40 бурульок (по 10 шт. на кожній насадці).

Зовнішні розміри корпусу даної моделі (рис. 3.4) становлять $280 \times 200 \times 1150 \text{ мм}$, товщина стінок – 10 мм. Площа поперечного перерізу дорівнює $0,05 \text{ м}^2$, що в 9,2 рази менше за відповідне значення в реальній установці, що досліджується. Розміри входних отворів для повітря становлять $160 \times 60 \text{ мм}$, вихідного – $160 \times 120 \text{ мм}$. Таким чином, площі перерізу отворів для входу та виходу повітря були зменшені приблизно в 9,2 рази, що означає, що швидкість потоку повітря на вході та виході з установки залишилася незмінною у порівнянні з реальною установкою. Довжина насадок складає 260 мм.

Моделювання проводилося для семи моментів часу роботи кристалізатора, що є достатнім для побудови графіка залежності гідравлічного опору від часу. У табл. 3.1 наведені значення витрат повітря у відповідний момент часу роботи установки. Дані значення одержані шляхом зменшення витрат повітря, яке може бути нагріте в реальному кристалізаторі, в 9,2

рази, що відповідає відношенню площ поперечних перерізів реальної установки та дослідної моделі.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для проведення моделювання у FloWorks

τ , год	0,1	0,5	1	2	4	6	8
$m_{\text{пов}}$, кг/с	0,011	0,022	0,032	0,041	0,057	0,067	0,076
l_6 , мм	3,4	19,3	44,4	112	316	612	1000
d_6 , мм	1,8	4,2	6,1	8,8	12,8	15,9	18,5

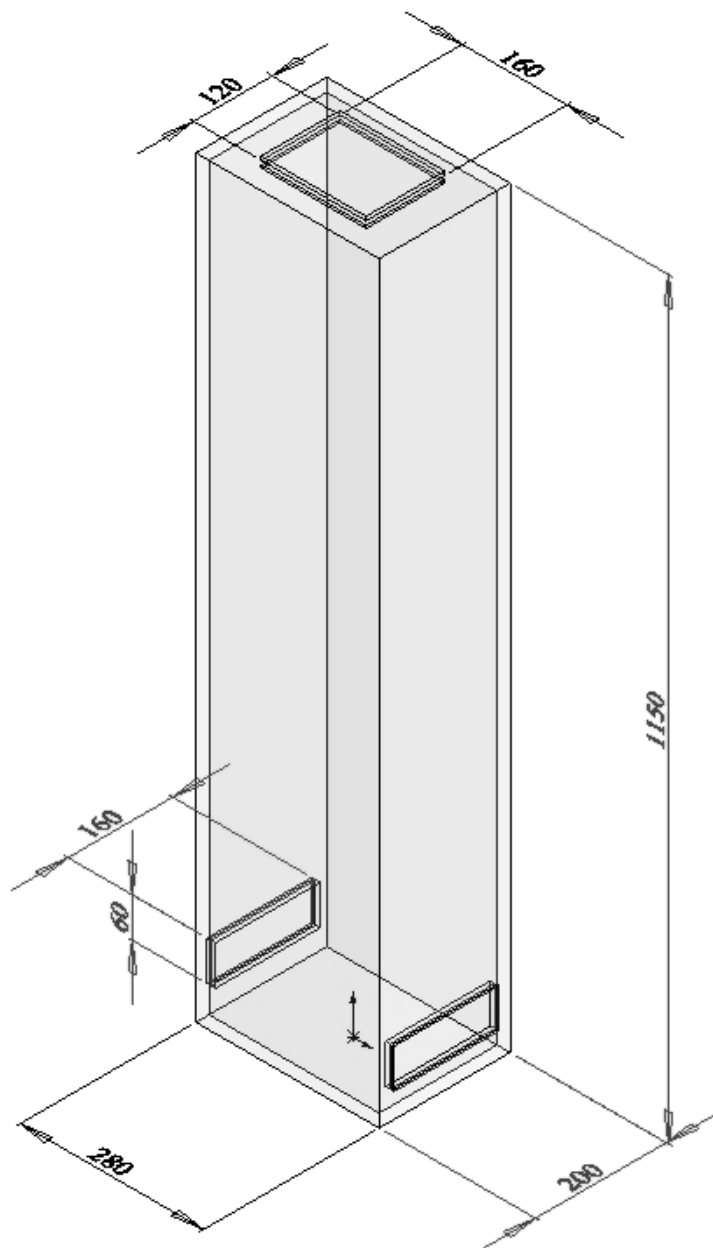


Рисунок 3.2 - Корпус моделі кристалізатора, що досліджується

При проведенні комп'ютерних досліджень для кожного моменту часу відбувалася побудова масиву бурульок на насадках із відповідними розмірами, взятими з таблиці 3.1, а у вхідних отворах задавалася відповідна витрата повітря. Діаметри насадок приймалися на 1...2 мм більшими за діаметри бурульок. Після закінчення розрахунку програмними засобами FloWorks виконувалося вимірювання швидкості потоку повітря $W_{\text{пов}}$, м/с, в поперечному перерізі кристалізатора, що проходить через бурульки (горизонтальний переріз), і середніх значень тиску в отворах для входу та виходу повітря. Гідравлічний опір моделі кристалізатора визначався наступним чином:

$$\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}}, \quad (3.1)$$

де, $P_{\text{вх}}$ – середнє значення тиску у вхідних отворах для повітря, Па;

$P_{\text{вих}}$ – середній тиск у вихідному отворі для повітря, Па.

3.2 Результати моделювання та їх обробка

На рис. 3.3 показана модель кристалізатора через 8 годин після початку його роботи, тобто перед скидання льоду до льодосховища. У даний момент часу гідравлічний опір установки максимальний через значне загромождження вільного перерізу для проходження повітря. Довжина та діаметр бурульок відповідають значенням із табл. 3.1 при $\tau = 8$ год.

Результати комп'ютерних досліджень заносилися до табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати комп'ютерного моделювання аеродинамічних процесів у кристалізаторі

τ , год	$W_{\text{пов}}$, м/с	$P_{\text{вх}}$, Па	$P_{\text{вих}}$, Па	ΔP , Па
0,1	0,17	101326	101312	14
0,5	0,36	101327	101312	15
1	0,5	101329	101312	17
2	0,66	101332	101312	20
4	0,97	101336	101312	24
6	1,22	101342	101312	30
8	1,47	101350	101312	38

На рисунку 3.4 зображений розподіл тиску в площині, яка перетинає модель кристалізатора по осі однієї з насадок і відповідно проходить через осі ряду бурульок.

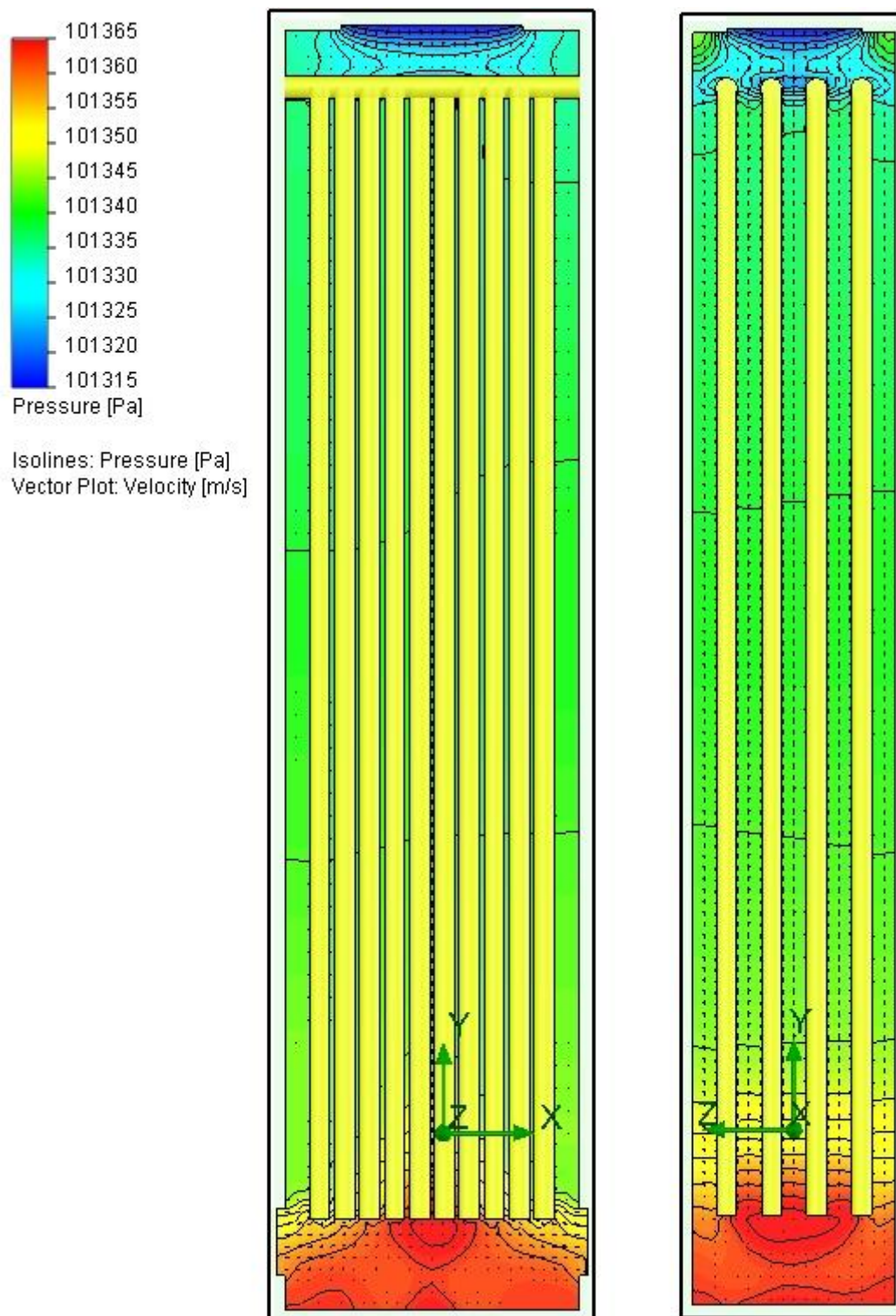
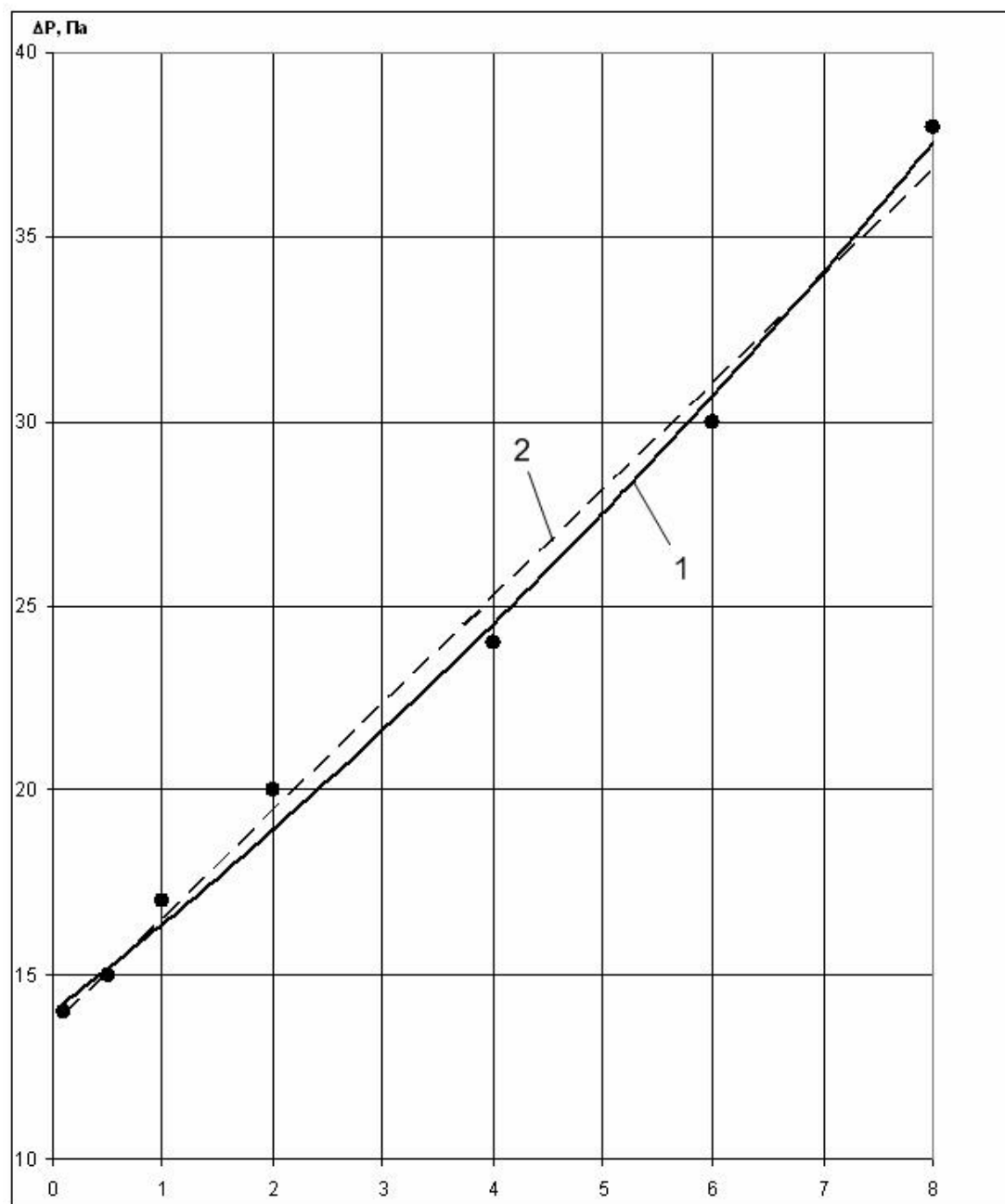


Рисунок 3.4 - Розподіл тиску у перерізах дослідної моделі кристалізатора

З рис. 3.4 бачимо, що найбільші втрати тиску мають місце в нижній частині установки при зіткненні потоку повітря з бурульками і у верхній частині при проходженні насадок. Ці місця є найбільшими місцевими опорами руху повітря в кристалізаторі.

За результатами, наведеними в табл. 3.2, було побудовано графік залежності гідравлічного опору одного яруса кристалізатора від часу роботи установки (рис. 3.5).



1 – квадратична залежність; 2 – лінійна залежність

Рисунок 3.5 – Графік залежності гідравлічного опору потоку повітря від часу роботи кристалізатора:

Графік залежності аеродинамічного опору одного яруса охолоджувача-кристалізатора повітря описується наступним квадратичним рівнянням

$$\Delta P_1 = 0,08\tau^2 + 2,303\tau + 14 \quad (3.6)$$

Із високою достовірністю апроксимації дану залежність можна також представити лінійним рівнянням, яке є більш зручним при виконанні інженерних розрахунків

$$\Delta P_1 = 2,9\tau + 13,62 \quad (3.7)$$

Для установки, яка складається з декількох ярусів, втрати тиску при проходженні потоку повітря через кристалізатор становитимуть

$$\Delta P = \Delta P_1 \cdot n_{\text{я}}, \quad (3.8)$$

де $n_{\text{я}}$ – кількість ярусів; у даному випадку $n_{\text{я}} = 2$.

Аеродинамічний опір кристалізатора, модель якого зображена на рис. 3.3 і складається з двох ярусів, у момент часу $\tau = 8$ год. (перед скиданням льоду) за формулою (3.8) дорівнює:

$$\Delta P = 38 \cdot 2 = 76 \text{ Па.}$$

Оцінімо необхідну електричну потужність двигуна вентилятора, Вт, який подаватиме повітря до даного кристалізатора

$$N = \frac{\Delta P \cdot V_{\text{пов.ст}}}{1000\eta_{\text{в}}}, \quad (3.9)$$

де $V_{\text{пов.ст}}$ – об'ємна витрата повітря, м³/с, в кінці робочого циклу кристалізатора (перед скиданням льоду) при стандартних умовах (температура 20 °С, тиск 760 мм рт. ст.), для яких у каталогах побудовані номограми для вибору вентиляторів;

$\eta_{\text{в}}$ – коефіцієнт корисної дії вентилятора; приймаємо $\eta_{\text{в}} = 0,75$;

Подачу вентилятора, м³/с, визначаємо наступним чином

$$V_{\text{пов.ст}} = \frac{m_{\text{пов}}}{\rho_{\text{пов.ст}}}, \quad (3.10)$$

де $m_{\text{пов}}$ – витрата повітря, кг/с; дану величину беремо з табл. 3.3 для $\tau = 8$ год;

$\rho_{\text{пов.ст}}$ – густина повітря, кг/м³, при температурі 20 °С (стандартні умови); за [19] $\rho_{\text{пов.ст}} = 1,205$ кг/м³.

Отже, подача вентилятора становить

$$V_{\text{пов}} = \frac{0,695}{1,205} = 0,577 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Таким чином, за формулою (3.9) електрична потужність двигуна вентилятора становитиме

$$N = \frac{76 \cdot 0,577}{1000 \cdot 0,75} = 0,058 \text{ кВт} = 58 \text{ Вт.}$$

3.3 Висновки до розділу 3

1 У результаті проведення теоретичного дослідження встановлені залежності, що характеризують зміну геометричних розмірів бурульок, що утворюються при контакті води з холодним повітрям із від'ємною температурою, із часом. Це дало можливість створити адекватні комп'ютерні моделі реального кристалізатора-охолоджувача води із наморозеними в ній бурульками у відповідний момент часу від початку роботи установки.

2 Встановлено, що гідравлічний опір дослідної моделі кристалізатора, яка складається з одного яруса насадок, потоку повітря збільшується з часом від 14 до 38 Па при тривалості роботи підігрівача до скидання льоду, яка дорівнює 8 год.

3 У результаті комп'ютерного моделювання було побудовано графік залежності втрат тиску в льодогенераторі від часу його роботи і визначені розрахункові рівняння, що описують зміну гідравлічного опору кристалізатора з часом.

4 На основі отриманих результатів розраховане значення необхідної електричної потужності двигуна вентилятора, яке становить 58 Вт.

4 ТРЬОХСТУПЕНЕВА ЕСПЕРЕМЕНТАЛЬНА СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

4.1 Сучасні енергоефективні системи вентиляції

Центральні системи вентиляції необхідні для підтримки мікроклімату в приміщеннях великих обсягів. Безпосередньо, таких як, торгові центри, концертні зали, галереї та інші приміщення подібного типу. Але також треба зазначити, що центральні системи вентиляції меншої потужності все частіше починають застосовуватись в приватних житлових будинках. У більшості випадків системи вентиляції, укомплектовані секцією охолодження/нагріву. Крім стандартних елементів вентиляції, комплектна установка включає в себе компресорно-конденсаторний блок. Всі складові секції агрегату підбираються окремо, виходячи з характеристик приміщень, вимог замовника і на підставі точних розрахунків. Центральна вентиляційна установка комплектується обладнанням у складі: вентилятора для подачі повітря в приміщення, яке обслуговується; фільтр очищення припливного повітря, механізму зволоження; механізму охолодження від зовнішнього компресорно-конденсаторного блоку або чиллера; механізму нагрівання; пристрою шумоглушіння; і рекуператора для економії енерговитрат. Компресорно-конденсаторні блоки поділяють на два типи: з водяним охолодженням або ж повітряним. І той і інший несе за собою свої характерні переваги та недоліки. Водяні ККБ володіють більшою потужністю, їм не характерні обмеження у відстані між двома блоками, а також можна охолоджувати проточною водою, що є великим плюсом.

Серед недоліків системи водяного охолодження можна виділити необхідність складних розрахунків і монтажу, а також відносно високу її вартість. Компресорно-конденсаторні блоки з повітряним охолодженням влаштовані за принципом зовнішнього блоку спліт-системи. Дані блок порівняно не дорогий і що не мало важливо, володіє можливістю досить простого і швидкого монтажу на відкритому просторі або в приміщенні. Недоліком, який є єдиним в ККБ з повітряним охолодженням, по відношенню до водяної, є обмеження по потужності. Аналогічні механізми кондиціонування часто використовуються при будівництві або реконструкції готелів, аеропортів, торгових центрів, великих промислових будівель та різних культурних закладів. Запропонована ж система вентиляції складається з трьох ступенів. В основі запропонованої системи вентиляції лежить використання вторинних енергоресурсів (а саме каскадне використання енергетичних потоків в межах однієї будівлі) та відновлювальних джерел енергії [24].

На першому ступені зовнішнє повітря з температурою -9°C (розрахункова температура зовнішнього повітря для вентиляції) подається в кристалізатор. Проходячи через канал, повітря нагрівається до -3°C .

Далі повітря іде на другий ступінь, де підігрівається в повітряно-повітряному теплообміннику, що вмонтований у зовнішню стіну будівлі. Повітря з температурою -3°C (після першої ступені) надходить в між трубний простір теплообмінника, а внутрішнє повітря з температурою 20°C витяжним вентилятором подається в середину сталених трубок і далі видаляється в атмосферу. За рахунок цього зовнішнє повітря на другій ступені підігрівається до 8°C . Підігріте в ТОА повітря надходить на третю ступінь підігріву, де нагрівається в калорифері до 15°C і потім подається в приміщення. В якості гріючого теплоносія в калорифері використовується вода з нефікальної каналізації, яка має температуру 30°C . Після калорифера вода з температурою 7°C скидається в каналізацію. Отже за рахунок такої системи вентиляції можемо нагріти зовнішнє повітря від -9°C до 15°C .

4.2 Аналітичний розрахунок трьох ступеневої системи вентиляції

У якості прикладу проведемо розрахунок системи вентиляції для індивідуального житлового будинку. Для наочної демонстрації важливості підігріву повітря в системі припливної вентиляції спочатку розрахуємо теплові втрати будівлі.

Вихідні данні для розрахунку теплових втрат:

Географічний район – м. Рівне;

Тривалість опалювального періоду – $n = 191$ доба;

Розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення – $t_{po} = -21^{\circ}\text{C}$;

Розрахункова температура зовнішнього повітря для вентиляції – $t_{pv} = -9^{\circ}\text{C}$;

Розрахункова температура повітря в приміщенні – $t_n = 20^{\circ}\text{C}$;

Розрахункова швидкість вітру на висоті:

$$H_o = 10 \text{ м} - W_o = 2,6 \text{ м/с} \quad (4.1)$$

4.1.1 Розрахунок теплових втрат елементів огорожувальних конструкцій

План житлового будинку з позначеннями стін показаний на рисунку 4.1

Загальна зовнішня поверхня стін $S_{cm \Sigma}$, м^2

$$S_{cm \Sigma} = (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4 + \ell_5) \cdot h \quad (4.2)$$

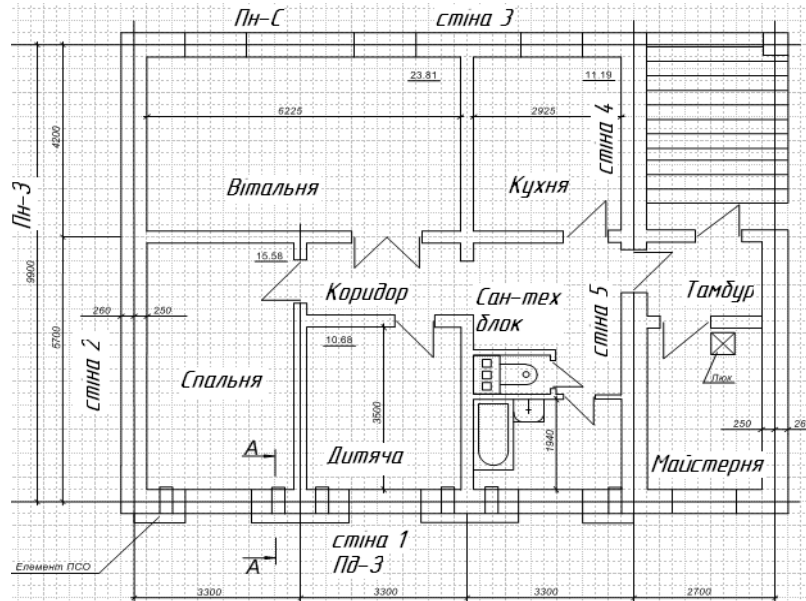


Рисунок 4.1 – План житлового будинку

Де $\ell_1, \ell_2, \ell_3, \ell_4, \ell_5$ – довжини стін, м;

h – висота стін, м; згідно [25] за наявності неопалювального підвалу першого поверху до рівня підлоги другого поверху приймається $h = 3$ м.

$$S_{cm\Sigma} = (12,6 + 9,9 + 12,6 + 4,2 + 5,7) \cdot 3 = 135 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня п-ої стіни:

$$S_{cm_i} = \ell_i \cdot h, \quad (4.3)$$

$$S_{cm1} = 12,6 \cdot 3 = 37,8 \text{ м}^2$$

$$S_{cm2} = 9,9 \cdot 3 = 29,7 \text{ м}^2$$

$$S_{cm3} = 12,6 \cdot 3 = 37,8 \text{ м}^2$$

$$S_{cm4} = 4,2 \cdot 3 = 12,6 \text{ м}^2$$

$$S_{cm5} = 5,7 \cdot 3 = 17,1 \text{ м}^2$$

Перевірка:

$$S_{cm\Sigma} = S_{cm1} + S_{cm2} + S_{cm3} + S_{cm4} + S_{cm5},$$

$$S_{cm\Sigma} = 37,8 + 29,7 + 37,8 + 12,6 + 17,1 = 135, \text{ м}^2$$

Різниця температур згідно [25] $\Delta t, ^\circ\text{C}$:

$$\Delta t = (t_n - t_{po}) \cdot n \quad (4.5)$$

де t_n – температура повітря в приміщенні;

t_{po} – розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення;

n – коефіцієнт, що залежить від типу огорожень.

Для житловоо будинку $t_n = 20^\circ\text{C}$; $t_{p.o} = -21^\circ\text{C}$;

Для зовнішніх стін та вікон $n = 1$; для огорожень, що безпосередньо не межують з зовнішнім повітрям $n = 0,75$.

для стін 1 – 4 та вікон:

$$\Delta t = (20 - (-21)) \cdot 1 = 41^\circ\text{C}.$$

для перекриття та стіни 5:

$$\Delta t = (20 - (-21)) \cdot 0,75 = 30,81^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт теплопередачі K , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$

- зовнішні стіни цегляні, товщина стін $\delta_{\text{СТ}} = 510$ мм,

- кладка кільцева з заповненням пінополістиролом ПСБ – С: $K_{\text{ст}} = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

- вікна дерев'яні з однокамерними склопакетами, на скло нанесене відзеркалююче

покриття: $K_{\text{вік}} = 1,85 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

- стеля – залізобетонне покриття, утеплене керамзитовим ґравієм товщиною

$\delta_{\text{гр}} = 350$ мм: $K_c = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

- підлога дерев'яна, утеплена: $K_{\text{під}} = 0,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$.

Теплові втрати стіни 1

Основні теплові втрати $Q_{\text{осн}}$, Вт:

$$Q_{\text{осн}} = K \cdot F \cdot \Delta t \quad (4.6)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, з урахуванням екранізуючої дії системи пасивного сонячного опалення, приймаємо $K=0,4$; F – площа поверхні стіни без площі вікон, м^2

$$F = S_{\text{ст}} - S_{\text{вік}} \cdot m \quad (4.7)$$

де m – кількість вікон стіни 1, $m = 4$

$$F = 37,8 - 1,8 \cdot 4 = 30,6 \text{ м}^2$$

$\Delta t = 41^\circ\text{C}$ – розрахункова різниця температур.

$$Q_{\text{осн}} = 30,6 \cdot 0,4 \cdot 41 = 502 \text{ Вт}$$

Згідно [25] величини додаткових втрат тепла подаються у відсотках до основних теплових втрат:

- зовнішні огороження орієнтовані на південний захід – 5%,
- огороження будівель, що знаходяться в місцевостях з розрахунковою швидкістю вітру взимку до 5м/с, захищені від вітру – 5%,
- наявність в приміщенні двох або більше зовнішніх стін – 5%.

В таблиці зведено результати розрахунку теплових втрат всіх огорожень. Таким чином, теплові втрати будівлі при температурі зовнішнього повітря $t_{po} = - 21^{\circ}\text{C}$ дорівнюють

$$Q_{оп} = 7254 \text{ Вт.}$$

Вище були розраховані теплові втрати будинку, які складають $Q_{оп}=7254 \text{ Вт}$, але при цьому не були враховані втрати пов'язані з інфільтрацією зовнішнього повітря (провітрюванням та надходженням зовнішнього повітря через нещільності). Від провітрювання можна відмовитись застосувавши систему вентиляції з підігрівом припливного повітря. Для цього будинку ми пропонуємо застосувати вище зазначену систему вентиляції з трьох ступінчатим нагрівом припливного повітря.

4.2.2 Проектний розрахунок системи вентиляції

Перший ступінь підігрівання повітря розраховується за експериментальними даними, отриманими в установці з бурульками. На 1 м^2 перерізу установки виділяється $500\text{Вт} - 2000\text{Вт}$ теплоти.

Для підігріву повітря в першому ступені необхідно забезпечити виділення 2 кВт теплоти при кристалізації води в бурульках [26]. Для забезпечення безперервної роботи у зв'язку з тим, що бурульки потрібно періодично видаляти встановлюємо 4 кристалізатори. В цих кристалізаторах лід видаляється автоматично, що забезпечує безперервну подачу нагрітого до заданої температури повітря.

Розрахунок другої ступені підігріву повітря

На другому ступені повітря підігрівається в повітряно-повітряному теплообміннику 5 вмонтованому в стіну будинку [22]. Схема теплообмінника зображена на рисунку 4.2.

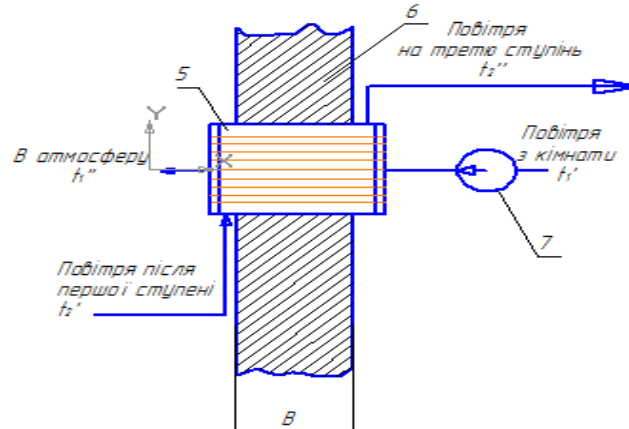


Рисунок 4.2 - Друга ступінь підігріву повітря

Температури теплоносіїв:

Температури гарячого теплоносія (внутрішнього повітря)

-на вході: $t_1' = 20^\circ C$

-на виході: $t_1'' = 12^\circ C$, $t_{1cp} = 16^\circ C \rightarrow \rho_1 = 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3, c_n = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ C}$

Температура холодного теплоносія(після першої ступені)

-на вході: $t_1' = -3^\circ C$

-на виході: задаємось $t_1'' = 5^\circ C$, $t_{2cp} = 1^\circ C \rightarrow \rho_1 = 1,25 \text{ кг} / \text{м}^3, c_n = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ C}$

Об'єм повітря що видаляється дорівнює об'єму повітря, що надходить і дорівнює

$$V_1 = V_2 = 0,25 \text{ м}^3.$$

Масові витрати теплоносіїв

$$m = V \cdot \rho \quad (4.9)$$

$$\text{- гарячого : } m_1 = 0,25 \cdot 1,2 = 0,3 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$\text{- холодного : } m_1 = 0,25 \cdot 1,2 = 0,3 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Обираємо сталіні електрозварні труби по ГОСТ 10704-91 з зовнішнім діаметром труб $d_{mp} = 32 \times 1 \text{ мм}$.

Приймаємо швидкість руху внутрішнього повітря в трубках рівною 5 м/с, а зовнішнього повітря в між трубному просторі 3 м/с.

Враховуючи, що α_1 і α_2 мають однаковий порядок, маємо

$$d_{розр} = \frac{d_{внут} + d_{зовн}}{2} \cdot d_{розр} = \frac{0,032 + 0,030}{2} = 0,031 \text{ м}$$

Площа поперечного перерізу для потоків повітря

$$f_i = \frac{V_i}{W_i} \quad (4.10)$$

$$f_1 = \frac{0,25}{5} = 0,05 \text{ м}^2, f_2 = \frac{0,25}{3} = 0,08 \text{ м}^2$$

Площа перерізу однієї трубки

$$f_{mp} = \frac{\pi \cdot d_{внут}^2}{4} \quad (4.11)$$

$$f_{mp} = \frac{3,14 \cdot (30 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Кількість трубок

$$n = \frac{f_1}{f_{mp}}, n = \frac{0,05}{0,00071} = 70 \text{ шт} \quad (4.12)$$

Компоновка труб

Розміщуємо трубки в трубній решітці по периметрам правильних шестикутників.

Кількість трубок приймаємо $n = 40 \text{ шт}$ (Рисунок 4.3). Для кожухотрубних теплообмінників крок трубок S при розташуванні їх в трубній решітці обираємо з умов міцності :

$$S = \left(\frac{1,3}{1,4} \right) \cdot d_H; \quad S = 1,3 \cdot 32 = 41 \text{ мм}. \quad (4.13)$$

Число шестикутників для розміщення труб

$$m = \frac{\sqrt{12 \cdot n - 3} - 3}{6}; \quad m = \frac{\sqrt{12 \cdot 70 - 3} - 3}{6} = 5 \text{ шт}. \quad (4.14)$$

Число труб по діагоналі шестикутника

$$e = 2 \cdot m + 1; \quad e = 2 \cdot 5 + 1 = 11 \text{ шт.} \quad (4.15)$$

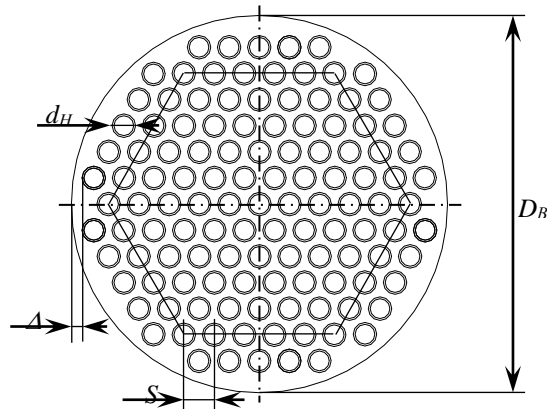


Рисунок 4.3 – Компоновка труб в трубному пучці

Δ – зазор між корпусом та крайньою трубкою; $D_{вн}$ – внутрішній діаметр корпусу, S – шаг трубок.

Внутрішній діаметр корпусу.

$$D_{вн} = 1,1 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{n}{\varphi}}, \quad (4.16)$$

де S - крок трубок;

φ - коефіцієнт заповнення трубної решітки, n - кількість трубок.

$$D_{вн} = 1,1 \cdot 41 \cdot \sqrt{\frac{70}{1,0}} = 377 \text{ мм.}$$

Корпус апарату виготовляємо з труби по ГОСТ 10704-91 з зовнішнім діаметром

$$D_{корп} = 377 \times 4 \text{ мм.}$$

Вільний переріз для руху повітря, що нагрівається

$$f_{вільне} = \frac{\pi \cdot D_{корп}^2}{4} - f_1 \quad (4.17)$$

$$f_{вільне} = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} - 0,05 \approx 0,8 = f_2$$

Теплове навантаження апарата

$$Q = m_1 \cdot C_{p1} \cdot (t_1' - t_1'') \quad (4.18)$$

$$Q = 0,3 \cdot 1 \cdot (20 - 12) = 2,4 \text{ кВт}$$

З іншого боку

$$Q = m_2 \cdot C_{p2} \cdot (t_2'' - t_2') \rightarrow t_2'' = \frac{Q}{m_2 \cdot C_{p2}} + t_2' \quad (4.19)$$

$$t_2'' = \frac{2,4}{0,3 \cdot 1} + (-3) = 5^\circ \text{C (перерахунок непотрібен).}$$

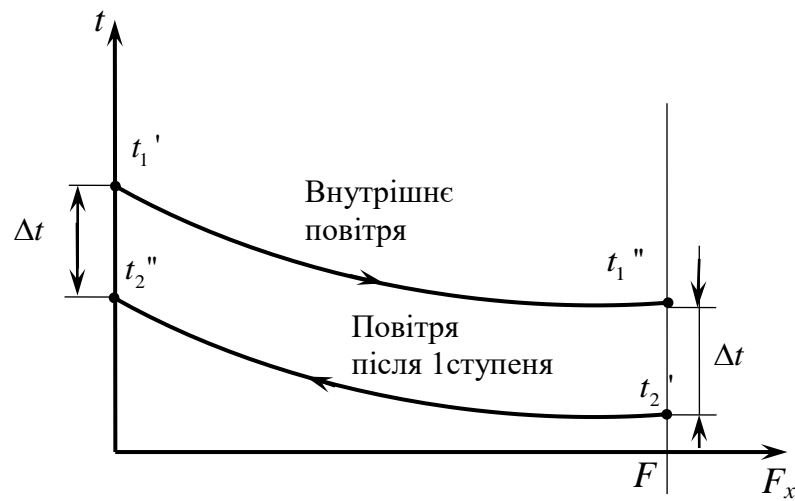


Рисунок 4.4 – Графік зміни температури теплоносіїв по поверхні теплообмінного апарату

$$\Delta t' = t_1' - t_2'' = 20 - 5 = 15^\circ \text{C};$$

$$\Delta t'' = t_1'' - t_2' = 12 - (-3) = 15^\circ \text{C}.$$

Таким чином середня різниця температур дорівнює:

$$\Delta \bar{t} = 15^\circ \text{C}$$

Аналіз процесу теплопередачі в теплообміннику

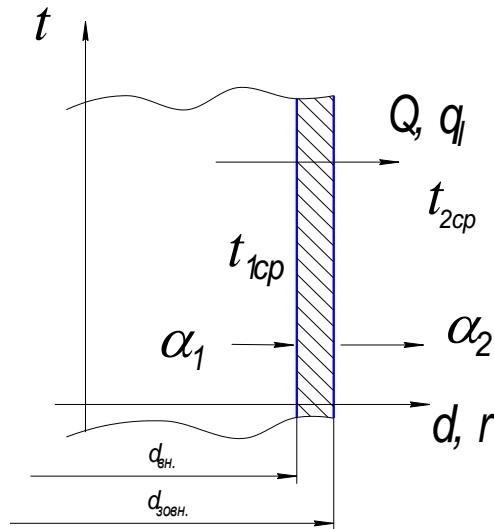


Рисунок 4.5 – Схема процесу теплопередачі

На рисунку :

α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до стінки трубки;

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від стінки трубки до потоку повітря після першої ступені.

Розрахуємо коефіцієнт тепловіддачі з боку гарячого теплоносія (внутрішнє повітря):

Число Рейнольдса для потоку повітря

по $\bar{t}_1 = 16^\circ \text{C}$ знаходимо ([13]) $\nu_1 = 14,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$, $\lambda_1 = 2,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{К}$

$$\text{Re}_1 = \frac{w_1 \cdot d_{\text{вн}}}{\nu_1}$$

$$\text{Re}_1 = \frac{5 \cdot 0,030}{14,7 \cdot 10^{-6}} = 1,02 \cdot 10^4 > 10^4,$$

таким чином, режим течії газів (повітря) – розвинений турбулентний.

Рівняння подібності для даного випадку

$$\text{Nu}_1 = 0,023 \cdot (\text{Re})^{0,8}$$

$$\text{Nu}_1 = 0,023 \cdot (1,02 \cdot 10^4)^{0,8} = 37$$

Таким чином коефіцієнт тепловіддачі від холодної води до стінки

$$\alpha_1 = \frac{\text{Nu}_1 \cdot \lambda_2}{d_{\text{екв}}}$$

$$\alpha_1 = \frac{37 \cdot 2.56 \cdot 10^{-2}}{0,03} = 32 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

по $\bar{t}_2 = 1^\circ \tilde{N}$ знаходимо $Pr_1 = 0.7068$, $\lambda_1 = 2,447 \cdot 10^{-2}$ Вт/м²К, $\nu = 13,37 \cdot 10^{-6}$ м²/с. За температурою

$$\text{стінки } t_c = \frac{\bar{t}_1 + \bar{t}_2}{2} = \frac{16 + 1}{2} = 8,5^\circ C, Pr_c = 0.7053.$$

$$Re_2 = \frac{w_1 \cdot d_{зовн}}{\nu_1}$$

$$Re_2 = \frac{3 \cdot 0,032}{13,37 \cdot 10^{-6}} = 7180 \cdot 10^4 < 10^4,$$

таким чином, режим течії газів (повітря) в міжтрубному просторі – змішаний.

Рівняння подібності для даного випадку:

$$Nu_2 = c \cdot (Re)^m \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{c2}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_i \cdot \bar{\varepsilon}_s \cdot \bar{\varepsilon}_\psi, \quad (4.20)$$

де $\varepsilon_i \cdot \bar{\varepsilon}_s \cdot \bar{\varepsilon}_\psi$ - поправки на номер ряду, густину компоновки та кут атаки відповідно.

Оскільки трубний пучок шаховий з однаковим кроком і ми розглядаємо увесь пучок, то ці поправки дорівнюють одиниці. При цьому $c=0,41$; $m=0,6$.

$$Nu_2 = 0.41 \cdot (7180)^{0,6} \cdot 0.7068^{0,33} \cdot \left(\frac{0.7068}{0.7053} \right)^{0,25} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 75.3$$

Таким чином коефіцієнт тепловіддачі від холодної води до стінки

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_{эКВ}} \quad (4.21)$$

$$\alpha_2 = \frac{75.3 \cdot 2.447 \cdot 10^{-2}}{0,032} = 58.3 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі за рівнянням

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.22)$$

де δ - товщина стінки трубки;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки;

Приймаємо λ теплообмінної сталевий трубки $\lambda_{cm} = 32 \frac{Вт}{м \cdot К}$

Коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{1}{\frac{1}{32} + \frac{0,001}{32} + \frac{1}{58,3}} = 21 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} \quad (4.23)$$

$$F = \frac{2,4 \cdot 10^3}{21 \cdot 15} = 7,6 м^2$$

Таким чином загальна довжина трубного однокерового пучка

$$L = \frac{F}{\pi d_{розр} n}, \quad (4.24)$$

$$L = \frac{7,6}{3,14 \cdot 0,031 \cdot 70} = 1,1 м$$

Третя ступінь підігріву повітря

На третьому ступені повітря після повітряно-повітряного теплообмінника надходить в калорифер, де нагрівається від 5 до 15°C водою з нефекальної каналізації, яка має температуру на вході в калорифер 30°C. Після калорифера, підігріте повітря надходить до приміщення, а вода з температурою 17°C скидається в каналізацію.

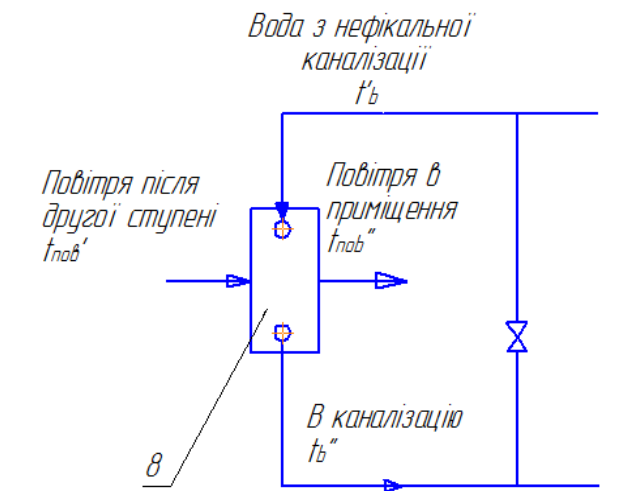


Рисунок 4.6 – Третя ступінь підігріву повітря

Температури теплоносіїв:

Температури гарячого теплоносія (води з нефікальної каналізації):

-на вході: $t'_B = 30^\circ \text{C}$

-на виході: $t''_e = 17^\circ \text{C}$, $t_{\text{ср}} = 23.5^\circ \text{C} \rightarrow \rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3, c_n = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$

Температура холодного теплоносія(повітря після другої ступені):

-на вході: $t'_n = 5^\circ \text{C}$

-на виході: $t''_n = 16^\circ \text{C}$, $t_{\text{нов.ср}} = 10.5^\circ \text{C} \rightarrow \rho_n = 1,25 \text{ кг/м}^3, c_n = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$

Масові витрати теплоносіїв

$$m = V \cdot \rho$$

- холодного : $m_n = 0,25 \cdot 1,25 = 0,31 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

Теплове навантаження апарата

$$Q = m_n \cdot C_{pn} \cdot (t''_n - t'_n)$$

$$Q = 0,31 \cdot 1 \cdot (16 - 5) = 3,3 \text{ кВт}$$

З іншого боку

$$Q = m_e \cdot C_{pe} \cdot (t'_e - t''_e) \rightarrow m_e = \frac{Q}{\Delta t \cdot C_{pe}}$$

$$m_e = \frac{3,3}{(30 - 17) \cdot 4,175} = 0,061 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \text{ або } 220 \text{ кг/годину.}$$

Добова витрата гарячої води (40°C) мешканцями будинку (дивись розрахунок ГВП) складає 300 кг. Оскільки вода в не фекальні каналізації це суміш холодної та гарячої води, то приймаємо масову витрату 450 кг/добу. Така кількість води може забезпечити 2 години роботи калорифера. Отже треба зауважити, що таку систему підігріву повітря доцільно застосовувати при необхідності провітрити приміщення.

Задаємо масову швидкість повітря у фронтальному перерізі: $(\rho_{\text{нов}} \cdot v)_\phi = 1,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$

Орієнтовний фронтальний переріз:

$$f_{\phi}^{op} = \frac{m_n}{(\rho_{нов} \cdot v)_{\phi}} \quad (4.25)$$

$$f_{\phi}^{op} = \frac{0,31}{1,5} = 0,2 \text{ м}^2$$

Вибираю калорифер **КВБ 6Б-П-УЗ** [26], для якого:

- дійсна площа поверхні нагрівання : $F_d = 17,22 \text{ м}^2$
- дійсна площа фронтального перерізу по повітрю: $f_d = 0,267 \text{ м}^2$
- дійсний живий переріз за водою: $f_T = 0,00116 \text{ м}^2$

Уточнюємо масову швидкість повітря

$$(\rho_{нов} \cdot v)_{\phi} = \frac{m_n}{f_{\phi}} \quad (4.26)$$

$$(\rho_{нов} \cdot v)_{\phi} = \frac{0,31}{0,267} \approx 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Швидкість води

$$w_{\epsilon} = \frac{m_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon} \cdot f_m} \quad (4.27)$$

$$w_{\epsilon} = \frac{0,061}{1000 \cdot 0,00116} \approx 0,05 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі

$$K = f((\rho_{нов} \cdot v)_{\phi}; w_{\epsilon}) = f(1,5; 0,05) = 19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{С}}$$

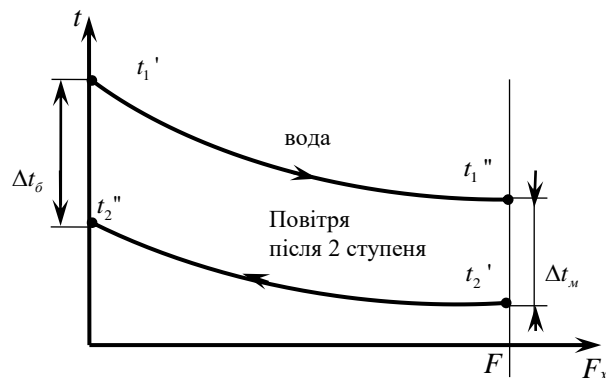


Рисунок 4.7 – Графік зміни температури теплоносіїв по поверхні теплообмінного апарату

Середньо логарифмічний температурний напір у випадку протитечії

$$\Delta t' = t'_{\text{е}} - t''_{\text{пов}} = 30 - 16 = 14^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t'' = t''_{\text{е}} - t'_{\text{пов}} = 17 - 5 = 12^{\circ}\text{C}.$$

Таким чином: $\Delta t_{\text{е}} = 14^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_{\text{м}} = 12^{\circ}\text{C}$.

Середньо логарифмічна різниця температур при протитечії дорівнює

$$\Delta \bar{t}_{\text{прот}} = \frac{\Delta t_{\text{е}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{е}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (4.27)$$

$$\Delta \bar{t}_{\text{прот}} = \frac{14 - 12}{\ln \frac{14}{12}} = 12,97^{\circ}\text{C}.$$

Середній температурний напір у калорифері

$$\Delta \bar{t} = \varepsilon_{\Delta t} \cdot \Delta \bar{t}_{\text{прот}} \quad (4.28)$$

де, $\varepsilon_{\Delta t} = 0,97$ у відповідності з [26].

$$\Delta \bar{t} = 0,97 \cdot 12,97 = 12,55^{\circ}\text{C}$$

Теоретично необхідна поверхня теплообміну:

$$F_T = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}$$

$$F_T = \frac{3,3 \cdot 10^3}{12,25 \cdot 19} = 14,2 \text{ м}^2$$

Запас дійсної поверхні нагрівання

$$\delta F_{\delta} = \frac{F_{\delta} - F_T}{F_{\delta}} 100\% \quad (4.29)$$

$$\delta F_{\delta} = \frac{17,22 - 14,2}{17,2} 100\% = 17,6\% \leq 20\% - \text{калорифер вибрано правильно.}$$

Визначимо загальну кількість зекономленої теплоти за рахунок використання запропонованої системи вентиляції

$$Q_{\text{системи}} = V_{\text{пов}} \cdot c_n \cdot \rho_n (t'_{\text{пов}} - t''_{\text{пов}})$$

$$Q_{\text{системи}} = 0,25 \cdot 1 \cdot 1,3(-9 - 16) = 8 \text{ кВт}$$

Отже витрати теплоти на підігрів повітря у випадку влаштування припливної системи вентиляції за для досягнення комфортних умов в середині приміщення, співвідносні, і навіть більше ніж витрати теплоти на опалення 7,3кВт. Тому ігнорування витрат теплоти пов'язаних з провітрюванням або підігрівом вентиляційного повітря є неприпустимим.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Резюме проекту

Ідеєю проекту є створення виробництва установок бурулькових кристалізаторів для підігріву повітря у вентиляційних установках взимку.

В Україні в період з мінусовими температурами приблизно 10 днів тримається температура нижче 10 градусів і приблизно 20 днів з температурою від -5 до -10 градусів Цельсія.

В цей період можливо підігрівати повітря теплотою кристалізації води, особливо це вигідно в системах вентиляції, в яких повітря підігрівається від температури атмосфери до температури 2°C - 4°C. В період морозів повітря можна підігрівати до такої температури теплотою кристалізації води, яка складає 334 кДж/кг води. При цьому за температури повітря - 20°C можна скоротити витрату енергії в традиційному калорифері приблизно в двічі. В середньому за місяць стояння згаданих температур економія енергії буде складати 25-30%.

В традиційному калорифері для підігріву повітря подається вода з котельні або теплової мережі, що в свою чергу живиться водою з ТЕЦ. Вартість 1 Гкал теплоти на 2019 рік становить 1500 грн.

В фармацевтичних підприємствах коефіцієнт повітрообміну складає 30-40 раз на годину. (тобто об'єм приміщення має змінитись 30-40 раз на годину), тому використання теплоти кристалізації найбільш вигідно при високих коефіцієнтах повітрообміну.

Бурулькові кристалізатори це установки, які використовують для створення льоду за природних умов, з подальшим використанням теплоти кристалізації (зелена енергетика). Напрямок діяльності створюваного підприємства – виробництво установок кристалізаторів.

Для реалізації проекту планується створення виробництва установок бурулькових кристалізаторів. Замовлення деталей, створення індивідуальних планів, проектування установок, збір установок в залежності від побажань замовника. (Форма, розмір, підсвітка).

Основними споживачами є власники приватних будинків, які бажають економити електроенергію за рахунок використання альтернативних джерел енергії. Можливе використання дизайнерськими агентствами.

Конкурентною перевагою є те, що винахід є унікальним. В інформаційних джерелах не згадується даний спосіб підігріву повітря для опалення.

Для реалізації проекту необхідно інвестувати 50 000 грн. Період окупності складає 1,2 роки, індекс рентабельності інвестицій в проект за 5 років становить 6,02 одиниці, а рівень безбитковості може бути досягнений у перший же рік введення проекту в експлуатацію.

5.2 Організація проекту

Ціль даного проекту популяризація альтернативних джерел енергії, а саме використання теплоти кристалізації для обігріву вентиляційного повітря.

Напрямок діяльності створюваного підприємства – виробництво установок, бурулькових кристалізаторів, які призначені для підігріву повітря, яке використовується для систем вентиляції приміщень.

Для реалізації проекту планується створення виробництва установок, для цього передбачається налагодження процесу створення індивідуальних планів, проектування установок, збір установок в залежності від побажань замовника.

Виробництво буде засновано на технології фазового переходу води, а саме буде використане поняття теплоти кристалізації. (Теплота, яка виділяється при заморожуванні 40 літрів води рівне спаленню 1 кг дров).

Особливу увагу варто приділити науковим дослідженням, передбаченим проектом. Дослідження способів заморожування, форм установки, способів пришвидшення заморожування води, та інше.

Проект буде являти собою цех або групу цехів приватної власності. Галузева приналежність – промисловість. Даний проект на сьогодні є стартапом, так як подібне рішення використовується вперше, даних в ЗМІ про подібні способи обігрівання знайдено не було.

5.3 Канва бізнес-моделі проекту

Таблиця 5.1 – Канва моделі стартап-проекту

<p>КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ Ключовими партнерами є підприємства, які будуть постачати деталі, для збору установок, (насоси, труби, пластик, комплектуючі). Підрядники, які будуть збирати установки на місці. Проектні агенції, яким буде цікаво співпрацювати. Підприємства повинні надавати ключовий ресурс – знання для проектування, деталі.</p>	<p>КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ Запровадження інноваційної технології обігріву повітря для вентиляції приміщень, налагодження рекламної компанії для популяризації даного методу підігріву повітря. Впровадження у широкий вжиток.</p> <p>КЛЮЧОВІ РЕСУРСИ Близькість від основних постачальних установ. Наявність альтернативних джерел для пошуку сировини. Стабільність цін на комплектуючі.</p>	<p>ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ Зменшення використання теплоти на опалення будинку, як наслідок зменшення витрати палива на вентиляцію, як наслідок зменшення грошових затрат. Зелена енергетика. Спосіб є абсолютно безпечним для навколишнього середовища. Надається можливість для використання нового способу, до цього не використовувано го в світі.</p>	<p>ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ЗІ СПОЖИВАЧАМИ Кожен споживчий сегмент очікує вигідного використання продукції, та здешевлення вже існуючих технологій. Також споживачі сподіваються на надійність, екологічність, економність енергоресурсів.</p> <p>КАНАЛИ ЗБУТУ Канали збуту можуть бути нульового рівня та однорівневими.</p>	<p>СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ Власники приватних будівель, великих гаражів, складів, цехів, ангарів, який необхідно підтримувати достатньо сталу температуру в приміщенні, використовуючи при цьому мінімальну кількість енергії.</p>
<p>СТРУКТУРА ВИТРАТ Бізнес модель передбачає інвестиційні та виробничі витрати, з яких проектування та рекламна компанія є найбільш дорогим ключовим ресурсом. Найбільших затрат серед ключових видів діяльності вимагає організація діяльності та запуск проекту.</p>		<p>ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ У проекті генеруються позитивні потоки доходів ($NPV = 81121 > 0$). Індекс рентабельності інвестицій в проект є привабливим і складає $ROI = 5,62 > 1$.</p>		

5.4 Ключові види діяльності проекту

5.4.1 Вид проекту за характером інновації

За характером інновації даний проект стосується запровадження нової технології – створення цеху для проектування установок бурулькових кристалізаторів, які дозволять підігрівати повітря для вентиляції.

Що стосується організаційної інновації, то даний стартап проект дозволить зменшити використання палива а опалення приміщень, а як наслідок зменшить викид CO₂ в атмосферу.

В залишку, стартап проект також направлений на поширення використання альтернативних джерел енергії у повсякденному житті.

5.4.2 Спрямованість проекту

Проект спрямований на випуск продукції, яка зможе зайняти конкурентоспроможну нішу серед установок, які засновані на принципі використання альтернативних джерел енергії.

Спрямований на оновлення технології та способів підігріву повітря для використання його у системі вентиляції.

Окрім того, забезпечує економію паливних енергоресурсів у системах вентиляції повітря в холодний період року. Дозволить поліпшити стан стану навколишнього середовища (скорочення викидів CO₂, за рахунок зменшення об'ємів палива, що спалюється).

5.4.3 Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї

Дана технологія унікальна. Світова практика має досвід використання принципу теплоти кристалізації в дуже холодних місцевостях (Сибір, Закавказзя). Проте створення самих установок – унікальне. Також даний проект немає аналогів в Україні. Даний стартап проект забезпечить покращення у вже існуючих способах вентиляції повітря.

5.4.4 Основні бізнес-процеси проекту

Основні процеси, що входять до стартап-проекту, наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Основні процеси, що входять до стартап-проекту

Група процесів	Бізнес-процес	Ступінь опрацювання бізнес-процесу	
		є реалізованим	буде реалізованим
Розробка продукції	розробка та конструювання продукції		+
	розробка і конструювання процесу	+	
	технологічна підготовка виробництва		+
Вимоги споживачів	дослідження розвитку ринку	+	
	організація маркетингу і продажів		+
Виконання замовлень	забезпечення і матеріально-технічний збут		+
	планування і управління виробництвом		+
	виробництво продукції		+
Обслуговування споживача	післяпродажне обслуговування		+
	повернення продукції		+

5.5 Ціннісні пропозиції та споживачі

Ціннісна пропозиція – сукупність переваг, які проект може запропонувати споживачу.

5.5.1 Характер формування споживчої цінності проекту

Покращення задоволення існуючих потреб (пов'язано з тим, що на даний момент існує такі способи підігрівання повітря у системах вентиляції: калорифери, що використовують гарячу воду; утилізаційні теплообмінники, що використовують теплоту повітря, що викидається; теплові насоси; Використання даної установки дозволить зменшити різницю температур повітря, що застосовується для вентиляції. Це дозволить зменшити навантаження на головний нагрівальний елемент майже у два рази.

Що стосується формування та задоволення потреб (одним із напрямів розвитку даного стартап-проекту є задоволення потреб у вдосконаленні системи вентиляції шляхом використання лише альтернативних джерел енергії.

5.5.2 Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї стартап-проекту подано у вигляді табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Зміст ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Сегменти споживачів	Цінність для споживачів
Створення виробництва установок бурулькових кристалізаторів, які використовують для підігріву повітря	1. Виробництво установок, які при встановленні в буферній зоні опалюваного приміщення зменшать об'єми затрачуваних ресурсів.	Приватні особи	Зменшення плати за енергоресурси, які підводяться до будинку на його опалення (газ, електрика, дрова, твердопаливні брикети).
	2. Впровадження установок бурулькових кристалізаторів в масове виробництво та популяризація ідеї альтернативних джерел енергії в країні.	Багатосторонні платформи	Задоволення потреб у теплопостачанні.
	3. Зменшення кількості викидів в атмосферу, що забезпечує кращу екологічну ситуацію в країні.	Багатосторонні платформи	Зменшення викидів, покращення якості повітря.

5.5.3 Аналіз ідеї проекту

Аналіз ідеї стартап-проекту наводиться в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Аналіз ідеї стартап-проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект			
1	2	3	4	5
Розташування	Близьке	-	-	Відсутність проблем з транспортуванням
Характер поставок	Оптові поставки, прямі договори	-	-	Процес поставок не займає багато часу
Вид продукції	Збірні конструкції	-	-	Індивідуальний підхід до кожного замовника

1	2	3	4	5
Якість	Висока	-	-	Визначено за результатами попереднього аналізу
Ціна	9700 грн/м ² установки	Ціна досить висока	-	Доставка зібраної конструкції Установка, проектування, післямонтажне обслуговування змінює ставлення до ціни продукції
Доля ринку	60% (визначено за попереднім аналізом)	На етапі становлення доля ринку буде низькою	-	-

5.5.4. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологічний аудит ідеї стартап-проекту наведений в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Технологічний аудит ідеї стартап-проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Замовлення необхідний комплектуючих для збору установки	Комплектуючі різного виду доставляються в цей, де буде виконано процес збірки.	Не Потребує знання технології, так як всі необхідні комплектуючі виробляються фірмами партнерами.	Всі технології є доступними, якість може змінюватись в залежності від фірми підрядника. Від цього також варіюється і ціна.
Проектування конкретної установки під потреби	У залежності від потреб може бути змінена форма, кількість блоків, змінена довжина установки		

замовника, збірка, установка.			
Обслуговування після встановлення протягом гарантійного терміну, що складає 5 років	Гарантійне обслуговування залежить від якості матеріалів установки, що в свою чергу залежить від ціни, яку готовий заплатити замовник.		

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: товар згідно з ідеєю проекту буде виготовлено за вже відомою технологією, проте сам факт використання процесу, який відбувається під час замерзання води для опалення є новим. що знайшла широкого розповсюдження у провідних країнах світу. Як наслідок, дану технологію розробляти не потрібно, проте варто прорахувати процес, зробити додаткові дослід, спробувати спроектувати різні моделі установок, що залежать від зовнішніх факторів.

5.5 SWOT-аналіз проекту

Аналіз сильних та слабких сторін, а також можливостей і загроз, стартап-проекту зведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p><i>Сильні сторони (S):</i></p> <p>Відсутність проблем з транспортуванням збірний матеріалів</p> <p>Процес збірки не займає багато часу.</p> <p>Висока якість матеріалів, які використовуються для виготовлення установок.</p> <p>Супроводження проекту та гарантійне обслуговування протягом 5 років нівелює високу ціну продукції.</p>	<p><i>Слабкі сторони (W):</i></p> <p>Небажання переходу покупців на альтернативні джерела енергії, додатково затрачаючись на них.</p> <p>Ціна є досить високою.</p> <p>На етапі становлення доля ринку буде низькою</p> <p>Відсутність розрахунків та знань. Необхідне вкладення ресурсів в навчання спеціалістів, які будуть займатися проектування установок.</p> <p>Негативний піар від компаній, які займаються</p>
--	---

	традиційними способами опалення.
<p><i>Можливості (О):</i></p> <p>Виробництво конкурентоспроможної продукції</p> <p>Монополізація сектору виготовлення установок бурулькових кристалізаторів.</p> <p>Розвиток технології використання принципу теплоти конденсації.</p> <p>Залучення закордонних інвесторів для створення дослідницьких центрів, з можливістю використовувати розробку в інших галузях науки та техніки.</p> <p>Створення інноваційних технологій у даній сфері, їх патентування</p>	<p><i>Загрози (Т):</i></p> <p>Залежність від фірм партнерів. Значне збільшення ціни на комплектуючі призведе до зросту цін на установки.</p> <p>Новизна технології – збільшення затрат на освоєння, зниження об’ємів виробництва</p> <p>Недовіра покупців. Негативний піар, від вже добре становлених конкурентів (традиційне опалення)</p> <p>Відсутність резерву потужностей – неможливість покрити пікові потреби</p>

5.6 Взаємодія зі споживачами та канали збуту

Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту даного стартап-проекту зведено в загальну табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Сегмент споживачів	Особливості поведінки	Вимоги споживачів	Канали збуту	Інші аспекти взаємовідносин
Власники приватних будинків, великих площ погано опалюваних приміщень. (Склади, ангари, т.д.)	Є доступними лиш для певної визначеної групи людей зі стабільними прожитковими умовами.	- Якість, цінність продукції, як інтелектуально цінної, практичне покращення економічних показників.	Канали збуту першого рівня.	Споживачі можуть не згодитись переходити на альтернативні джерела енергії, оскільки це потребує додаткових вкладень.

5.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту

Обґрунтування ресурсів та витрат проекту наведено в табл. 5.8 – 5.12.

Таблиця 5.8 – Визначення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на продукцію	Розрахунок ціна продукції
8650 грн/м ²	-	1200000 грн/міс	7650 – 10300 грн/м ²	9700грн/м ²

Таблиця 5.9 – Визначення обсягу виробництва продукції

Показник	Значення по роках				
	2018	2019	2020	2021	2022
Загальна потреба в продукції	3 км ² /рік	5 км ² /рік	7 км ² /рік	12 км ² /рік	15 км ² /рік
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	12000 км ² /рік	12500 км ² /рік	13500 км ² /рік	16000 км ² /рік	18000 км ² /рік
Ціна одиниці продукції (грн/м ²)	9700	9700	9700	9700	9700
Річні обсяги випуску в вартісних показниках (млн. грн.)	29,1	48,5	67,9	116,4	145,5

Таблиця 5.10 – Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат

Назва етапу	Строки виконання	Обсяги фінансування, грн.
Проведення досліджень	6 місяців	28000
Придбання устаткування	2 місяці	32000
Організація діяльності та запуск проекту	4 місяців	76000
Витрати на управління	1 місяць	15000
Початкові виробничі витрати	1 місяць	16000
Інші витрати	-	10000
<i>Разом</i>	14 місяців	177000

Таблиця 5.11 – Розрахунок виробничих витрат

Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.				
	2018	2019	2020	2021	2022
Загальногосподарські витрати	7600	8050	8600	9150	9700
витрати на оренду та утримання приміщень, обладнання	35000	35000	42000	47000	50000
комунальні витрати	22000	24000	27000	27000	29000
витрати на збут, просування та рекламу	700 000	56000	367 000	97 000	80 000
Витрати на матеріальні ресурси (комплектуючі, сировина)	148 000	230 000	112 000	97 000	102 000
Витрати на оплату праці	500 000	650 000	700 000	800 000	800 000
Інші витрати (якщо є)	5000	5000	5000	5000	5000
<i>Разом (млн грн):</i>	1417,6	1008	1261,6	1082,15	1075,7

Таблиця 5.12 – Розрахунок загальних витрат на реалізацію стартап-проекту за роками

Показник	Значення по роках (млн грн)					Разом
	2018	2019	2020	2021	2022	
Інвестиційні витрати	0,177	-	-	-	-	0,177
Виробничі витрати	1417,6	1008	1261,6	1082,15	1075,7	5845,22
Обсяг загальних витрат, в тому числі за рахунок	1417,77	1008	1261,6	1082,15	1075,7	5845,32
власних коштів	-	1789	1870	1965	2050	4427,45
коштів інвестора	1417,6	-	-	-	-	1417,6

5.8. План робіт та партнери проекту

План поставлених робіт, а також партнери, що будуть залучені до стартап-проекту, наведено в табл. 5.13.

Таблиця 5.13 – План робіт та партнери стартап-проекту

№	Бізнес-процес проекту	Термін виконання	Виконавець, співвиконавці	Результат
	Розробка та конструювання продукції	6 місяців	Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений вид продукції

Розробка і конструювання процесу		Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений процес виготовлення продукції
Технологічна підготовка виробництва		Спільні підприємства для запуску проектів	Підготовлене виробництво
Дослідження розвитку ринку	2 місяці	Спільні підприємства для запуску проектів	Результати ринкових досліджень
Організація маркетингу і продажів	3 місяці	Співробітництво між неконкуруючі компаніями	Рекламна кампанія, угоди зі споживачами
Забезпечення і матеріально-технічний збут	1 місяць	Спроектований комплекс переробки відходів, партнерство між конкурентами	Угоди з постачальниками відходів
Планування і управління виробництвом	1 місяць	Спроектований комплекс переробки відходів	Налагодження виробництва вторинної сировини
Виробництво продукції	1 місяць	Спроектований комплекс переробки відходів	Стабільність процесу виготовлення сировини
Після продажне обслуговування	1 місяць	Відносини виробника зі споживачами	Узгодження умов обслуговування зі споживачами
Повернення продукції	1 місяць	Відносини виробника зі споживачами	Узгодження умов якості вторинної сировини

5. 9. Грошовий потік та економічна оцінка проекту

5.9.1 Визначення крапки беззбитковості проекту

Крапка беззбитковості відображає обсяг виробництва інноваційної продукції, при досягненні якого виручка від реалізації покриває сумарні витрати на її виробництво. Розрахунок точки беззбитковості проводиться за формулою:

$$T_{\text{б}} = \frac{C}{P - V}, \quad (5.1)$$

де C – постійні витрати на весь обсяг продукції (ті, які не залежать від обсягу виробництва продукції – загальногосподарські витрати та витрати на оплату праці);

P – ціна одиниці продукції;

V – змінні витрати на одиницю продукції (ті, які пропорційно залежать від обсягу виробництва продукції – витрати на матеріальні ресурси).

Результати визначення крапки беззбитковості проекту зведено в табл. 5.14.

Таблиця 5.14 – Визначення точки беззбитковості проекту

Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.				
	2018	2019	2020	2021	2022
Загальногосподарські витрати	7600	8050	8600	9150	9700
Витрати на оплату праці	500 000	650 000	700 000	800 000	800 000
Постійні витрати на весь обсяг продукції (С)	1200	1250	1320	1310	1420
Ціна одиниці продукції (Р), грн/кг	9700	9700	9700	9700	9700
Витрати на матеріальні ресурси (комплектуючі, сировина)	148 000	230 000	112 000	97 000	102 000
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках, т/рік	12000	12500	13500	16000	18000
Змінні витрати на одиницю продукції (V), грн/кг	0,63	0,67	0,69	0,71	0,74
Точка беззбитковості, т	69	71	75	78	82

Рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

5.9.2 Формування грошового потоку від реалізації проекту

Чистий дисконтований дохід (NPV, Net Present Value) – це різниця між надходженнями за весь період інноваційного проекту та інвестиціями в проект.

Таблиця 5.15 – Формування грошового потоку від реалізації проекту

Показник	Значення по роках					Разом
	2018	2019	2020	2021	2022	
Надходження від проекту (виручка від реалізації продукції, послуг)	2316,1	2423,3	2415,6	2478,12	2513,1	12146,22

1	2	3	4	5	6	7
Загальні витрати млн грн	1417,6	1008	1261,6	1082,15	1075,7	5844,9
Грошовий потік (3 = 1 – 2) (CF)	898,5	1418,3	1154	1395,97	1437,4	6304,17
Акумуляований грошовий потік (ACF)	-425,2	438,6	462,1	478,5	522,3	-

$NPV = 81121 > 0$ протягом розрахункового періоду – інноваційний проект доцільно прийняти.

5.9.3 Розрахунок індексу рентабельності інвестицій в проект

(ROI, Return On Investment) характеризує рівень грошового потоку, що припадає на одиницю інноваційних витрат і обчислюється за формулою:

інвестиція здійснюється одноразово:

$$ROI = \sum_T D_t / I, \quad (5.2)$$

D_t – надходження у відповідному періоді,

I – разова інвестиція.

$$ROI = \frac{9201,71}{1477} = 6,23.$$

$ROI = 5,62 > 1$ – інноваційний проект доцільно прийняти. Чим більшим є значення цього показника, тим вищою є віддача кожної грошової одиниці, інвестованої в інноваційний проект. Критерій ROI використовують при виборі певного проекту із декількох альтернативних, у яких NPV приблизно однакові.

5.9.4 Період окупності інвестицій

Розрахунковий термін від початку реалізації проекту, починаючи з якої акумуляований грошовий потік (ACF) приймає стійке позитивне значення. Іншими словами, це – період, починаючи з якого первинні вкладення і інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, покриваються сумарними результатами його здійснення.

Термін окупності розраховується за формулою:

$$T_{ок} = t + \frac{|ACF_{t-}|}{|ACF_{T-}| + |ACF_{T+}|}, \quad (5.3)$$

де t – останній період реалізації проекту, при якому акумульований грошовий потік (різниця накопиченого доходу і витрат) приймає від’ємне значення (ACF – рядок 4 табл. 9.2) – у формулі зазначається порядковий номер періоду від початку фінансування);

ACF_{t-} – це остання від’ємна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.);

ACF_{t+} – це перша позитивна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.).

$$T_{ок} = 1 + \frac{23200}{23200 + 17524} = 1,67$$

Період окупності інвестицій складає 1,67 років.

5.10 Висновок до розділу 5

За розглянутими пунктами можна побачити, що даний проект є прибутковим, а найголовніше, – можливим рішенням для зменшення кількості викидів CO_2 в навколишнє середовище. Прикладним позитивним фактором є те, що споживачі отримують економію енергоресурсів, таких як газ, тверде паливо, дрова, електрика. Для реалізації проекту необхідно інвестувати 1,477 млн. грн. Період окупності інвестиційних відрахувань складає всього 1,67 років, а рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію. Дана технологія є інноваційною не тільки для нашої країни, і її впровадження дозволить покращити екологічну ситуацію. Впровадження проекту дозволить в подальшому знизити витрати палива на традиційні вентиляційні установки.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації показана доцільність використання теплоти кристалізації води для підігрівання повітря у системах вентиляції, при цьому досліджена можливість застосування гравітаційного методу диспергування води з метою наморожування бурульок на горизонтальних насадках. Також була встановлена залежність аеродинамічного опору промислового кристалізатора-охолоджувача води від часу його роботи та розрахована система теплопостачання житлового будинку з використанням трьох ступеневої системи підігріву повітря теплотою кристалізації води.

На основі отриманих результатів можна зробити наступні основні висновки:

1 Доведена можливість використання гравітаційного методу розпилення води над горизонтальними насадками для утворення на них бурульок. Даний спосіб наморожування льоду може бути корисним в автономних умовах при відсутності водогону чи неможливості підводу електричної енергії до розпилювальних пристроїв.

2 Встановлено, що при витіканні води через отвір униз із витратою 0,52 г/с максимальний радіус розлітання крапель після удару потоку води об горизонтальну тверду поверхню при вимірюванні на одному рівні з поверхнею удару становить 190...395 мм при висоті падіння струменя 260...1270 мм.

3 Радіус розбризкування крапель на поверхні, розташованій нижче поверхні удару, у залежності від відстані від поверхні удару змінювався від 240 до 370 мм при збільшенні відстані від 0 до 740 мм. При цьому з'ясовано, що максимальна ефективність зрошування розміщених нижче насадок досягається при розташуванні поверхні удару на висоті 430 мм над поверхнею насадок.

4 Результати описаних вище експериментів апроксимовані математичними залежностями.

5 Проведені дослідження кристалізації води на різноманітних насадках, а саме:

- Широка металева оцинкована поверхня у вигляді П-подібної конструкції без перфорації і з перфорацією. Верхня площа була розбита на декілька ділянок з різними розмірами отворів, що в свою чергу показало різні результати.

- Металевий профіль у вигляді двоскатного даху (експеримент проводився на ділянці, яка найкраще показала себе в попередньому дослідженні). Дах утворений згинанням П-подібного профілю симетрично центру по ряду попередньо просвердлених вздовж пластини отворів діаметром 2 мм. Кут нахилу до горизонту 10° градусів.

- Т-подібний дерев'яний брусок.

- Паралельні металеві оцинковані П-подібні профілі. Що утворювали щілини різної ширини.

Паралельні вертикальні пластини з різною відстанню між пластинами. Експеримент в атмосферних умовах включав в себе дослідження охолодження первинних крапель та дослідження намерзання вторинних крапель у вигляді бурульок і наростів на насадках з труб і інших профілях.

Підтверджено можливість практичного використання такого розпилювача для генерації теплоти і льоду.

6 Запропонована конструкція охолоджувача-кристалізатора води, розробка якого мала на меті вдосконалення існуючих конструкцій льодогенераторів. На дану конструкцію подана заявка на корисну модель.

7 На основі комп'ютерного моделювання визначений максимальний аеродинамічний опір промислового підігрівача повітря при витраті повітря теплотою кристалізації води, який становить 76 Па при 8-годинній тривалості його роботи до скидання льоду до льодосховища. При моделюванні бурульки замінялись циліндрами різних діаметру і довжини, що зростали з часом.

8 Розроблена схема включення охолоджувачів-кристалізаторів води в реальну систему теплопостачання житлового будинку. Розрахунки довели доцільність використання теплоти кристалізації води для підігрівання атмосферного повітря перед калорифером системи вентиляції, термін окупності такого кристалізатора становить 7 років.

Результати досліджень можуть бути використані для проектування та подальшого дослідження аналогічних льодогенераторів, а також розробки та впровадження таких установок в якості обладнання для підігрівання повітря в системах теплопостачання з метою підвищення ефективності повітряно-водяних теплових насосів, а також для заготівлі льоду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. НОВА ЕНЕРГЕТИЧНА СТРАТЕГІЯ УКРАЇНИ ДО 2035 РОКУ: «БЕЗПЕКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ».
2. Закону України "Про електроенергетику" щодо коефіцієнтів "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії від 22 грудня 2016 року.
3. Пуховий І.І. Економія природного газу при заміні котлів тепловими насосами та використання теплоти кристалізації води як альтернативи теплоті ґрунту / І.І. Пуховий, М.К. Безродний, Н.М. Мхітарян і ін. // Відновлювана енергетика. – 2006. – №1. – С.15-19.
4. Рей Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайл. – М.: Энергоиздат, 1982 – 217 с.
5. Ткачев А.Г. Теплообмен при намораживании льда. Вопросы теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества / А.Г. Ткачев, Г.Н. Данилова. – Л.: Госэнергоиздат, 1953. – 276 с.
6. Бобков В.А. Производство и применение водяного льда / В.А. Бобков. – М: Госиздат, 1961. – 256 с.
7. Касаткин Ф.С. Градирня системы Клейменова для изготовления льда / Ф.С. Касаткин //Холодильная промышленность. – 1937. – №1. – С. 27-28.
8. Быкова А.В. Различные области применения холода / А.В. Быкова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 272 с.
9. Клейменов И.А. Автоматическая градирня для намораживания льда / И. А. Клейменов. – М.: Холодильная техника, 1939. – 456 с.
10. Пуховий І.І. Підігрів повітря, що йде на горіння палива взимку за рахунок теплоти кристалізації води з одночасним акумулюванням льоду для теплопостачання / І.І. Пуховий // Тези доповідей V науково-практичної конференції й впровадження техніки і технологій використання нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії. Крим. Миколаївка. – 1996.– с. 64.
11. Патент на корисну модель 1388665A1 СССР, МПК F24D 15/00. Система отопления здания И.И.Пуховаго / И.И. Пуховой; Заявл.19.03.86. Опубл.14.0388, Бюл.14.
12. Пажи Д.Г Основы техники распыливания гидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
13. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Ученик для вузов. 2 издание / Абрамов Н.Н. – М.: Стройиздат, 1974. – 480 с.

14. Пуховий І.І. Течія та замерзання води на вертикальних поверхнях при зрошенні їх краплями від розпилення ударом / І.І. Пуховий, М.О. Кривошеєв // Наукові вісті НТУУ КПІ . –2012. – № 6, С. 29–35.
15. Пуховий І.І. Диспергація потоку води при малих її витратах та формування бурульок на насадках з дроту / І.І. Пуховий, А.М. Постоленко // Вісник Внницького політехнічного інституту.- 2012. –№ 4. –С. 119 – 123.
16. Rein M. Phenomena of Liquid Drop Impact on Solid and Liquid Surfaces / M Rein // Fluid Dynamics Research, vol. 12, no. 2, pp. 61–93, 1993.
17. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» (УКРПАТЕНТ). Розписка про одержання заявки на корисну модель. Номер заявки: ц 2019 00934. Назва корисної моделі: спосіб спрямованого зрошення водою лінійних насадок.
18. Пуховий І.І. Процес виробництва льоду по бурульковій технології в льодогенераторах з горизонтальними насадками / І.І. Пуховий, М.К. Безродний, А.М. Постоленко. // Відновлювана енергетика ХХІ століття. –ТЗОВ “Інфодрук”, Крим: Мат. VII міжнар. наук. конф. –Крим, Миколаївка, 11–15 вересня 2006 р. –2006. – С. 66–68.
19. Пуховий І.І. Утворення бурульок на горизонтальних трубах при розпиленні води форсункою / І.І. Пуховий, А.М. Постоленко // Матер. міжн. конф. студ. і асп. ТЕФ «Сучасні проблеми. наук. забезпечення енергетики», 2012, Київ: КПІ . – ТЕФ, С. –146.
20. Пуховий І.І. Експериментальне дослідження диспергації рідини гравітаційним ударом об поверхні з різними властивостями / І.І. Пуховий, М.С. Хандусь // Матер. IX міжн. конф. студ. і асп. ТЕФ „Сучасні проблеми.наук. забезпечення енергетики”, 2011, Київ: КПІ .-ТЕФ. – 21 – 22 .04.2011. – С. 38.
21. Пуховий І. І. Диспергація води в тепломасообмінних апаратах ударом гравітаційного струменя об тверду поверхню / І. І. Пуховий, М. Л. Новік // Відновлювана енергетика ХХІ століття : матеріали XI міжнар. наук. конференції, Крим, Миколаївка, 13–17 вересня 2010 р. – К. : ТОВ Видавництво «Вікторія» 2010. – С. 126 – 127.
22. Пуховий І.І. Формування бурульок та гідравлічний опір при поперечному їх обтіканні / І.І. Пуховий, М.М. Шулежко, М.О. Кривошеєв та ін. // Матер. міжн. конф. студ. і асп. ТЕФ «Сучасні проблеми. наук. забезпечення енергетики», 2012, Київ: КПІ.–ТЕФ. – С.207.
23. Пуховий І.І. Доля струменя, що диспергується при ударі об поверхню для охолодження води повітрям в льодогенераторі – акумуляторі холоду / І.І. Пуховий, М.О. Кривошеєв // Відновлювана енергетика ХХІ сторіччя . –2013, Крим, Миколаївка,. – С. 147.

24. Супрунов Е.О. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики / Е.О. Супрунов, І.І. Пуховий // Матеріали міжнар. конф. аспірантів та магістрантів теплоенергетичного факультету НТУУ КПІ. – 2012. – с.186.
25. СНиП //-Л-71. Жилые здания. Нормы проектирования. Введ. 4.03.71.
26. Боженко М.Ф. Джерела тепlopостачання та споживачі теплоти» / М.Ф. Боженко, В. П.Сало // Київ «Політехніка» 2004.
27. Пуховий І.І. Використання холоду із снігу, льоду та ґрунту для охолодження невеликих дата-центрів в умовах України / І. І. Пуховий, Ю. Є. Ніколаєнко, А. М. Постоленко. // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". - 2013. - № 1. – С. 2.

ДОДАТОК А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан теплоенергетичного
факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ Є. М. Письменний

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

_____ (керівник підприємства,

_____ організації)

_____ (ініціали, прізвище)
« ____ » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на науково-дослідну роботу

«Розпилення води методом удару в процесах використання теплоти кристалізації для систем теплопостачання»

1. Термін виконання роботи

Початок – 01.09. 2018 р.

Закінчення – 16.05. 2019 р.

2. Обґрунтування для виконання роботи

Виконати дослідження, що спрямовані на вивчення різних способів розпилення води методом удару та використання теплоти замерзання води в системах вентиляції. Проектування трьох ступеневої експериментальної системи вентиляції з використанням теплоти кристалізації.

3. Мета роботи

Дослідити процеси розпилення води на краплі при ударі струменя об тверду поверхню з різними геометричними характеристиками поверхні удару та замерзанням води у бурульках; Спроектувати систему теплопостачання з використання відновлюваного джерела енергії – теплоти кристалізації води.

4. Зміст основних етапів виконання роботи

Отримання завдання. Літературний огляд. Гідродинамічні дослідження потоків у вигляді крапель при витіканні води через отвір і ударі струменя об верхівки різної конструкції. Дослідження удару крапель води об поверхні удару в умовах негативних температур довкілля з утворенням бурульок на насадках. Розробка та розрахунок трьох ступеневої експериментальної системи вентиляції з використанням теплоти кристалізації. Оформлення та подання дисертації.

5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи

5.1. Магістерська дисертація.

5.2. Презентація.

5.3. Довідка про впровадження результатів.

6. Порядок розгляду і приймання роботи

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», спеціалізацією «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

Керівник роботи

_____ проф., д.т.н., І.І. Пуховий

(підпис) (посада, ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

Виконавець

Студентка гр. ТП-71мн,
ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

_____ О.О. Карнаух

(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

ДОДАТОК Б

Ф.№3.3

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Карнаух Оксани Олегівни

№ п/п	Найменування праць	Руко-писні або друко-вані	Назва видавництва, журналу(номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кіль-кість друко-ваних аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	2	3	4	5	6
1.	Утилізація продуктів життєдіяльності тваринницьких комплексів	Друк.	Сучасні проблеми забезпечення енергетики: Матеріали XIV Міжнародної конференції аспірантів, магістрантів і студентів присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету м. Київ, 18-21 квітня 2016 р. У 2 т. – К. :НТУУ «КПІ», 2016. – Т.1. – С.158.	1 стор.	Карнаух О.О. Голіяд М. Н.
2.	Термодинамічний аналіз двоступеневої холодильної установки	Друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали VX Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів. Магістрантів і студентів, м. Київ, 25-28 квітня 2017 р. У 2 т. – К. :КПІ ім.. Ігоря Сікорського, 2017. – Т.1. – С. 156.	1 стор.	Карнаух О.О. Соломаха А. С.
3.	Підвищення зносостійкості шики вала парової турбіни	Друк.	Збірник наукових праць Всеукраїнського форуму студентів політехнічних університетів. – Миколаїв: МТУ «Миколаївська політехніка», 2017. – С. 32-33.	2 стор.	Карнаух О.О.
4.	Патент на корисну модель № 126143 «Спосіб зрошення водою насадок ударом води об тверду поверхню»	Друк.	Від 11.06.2018 року МПК (2018.01) F25C1/00	1 стор.	Карнаух О.О. Пуховий І.І.
5.	Параметри розлітання крапель при ударі струменя об поверхню	Друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVI	1 стор.	Карнаух О.О. Пуховий І.І.

	при малих витратах води		Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів. Магістрантів і студентів, м. Київ, 24-27 квітня 2019 р. У 1 т. – К.:КПІ ім.. Ігоря Сікорського, 2019. – Т.1. – С. 231.		
6.	Заявка на патент на корисну модель № u 2019 00934 «Спосіб спрямованого зрошення водою лінійних насадок»	Друк.	Від 30.01.19 ВХ№ 14212	1 стор.	Карнаух О.О. Пуховий І.І.
7.	Гідродинаміка, охолодження і замерзання води при ударі струменя об верхівки паралельних пластин	Друк.	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів. Магістрантів і студентів, м. Київ, 23-26 квітня 2019 р. У 1 т. – К.:КПІ ім.. Ігоря Сікорського, 2019. – Т.1. – С. 237.	1 стор.	Карнаух О.О. Пуховий І.І.

Автор

Карнаух О.О.

Інтернет + Бібліотека

83.23% Оригінальність	16.77% Схожість	285 Джерела
-----------------------	-----------------	-------------

Джерела з Інтернет : 144 джерела знайдено

1. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24354/1/Zhyvytsya_magistr.pdf	7.35%
2. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=...	1.84%
3. http://old.bulletin.kpi.ua/files/2012-6-4.pdf	1.84%
4. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=...	1.09%
5. https://report.kpi.ua/en/node/52	0.49%
6. https://report.kpi.ua/ru/content/hi	0.49%
7. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/18534/1/2407-f.doc	0.49%
8. http://ela.kpi.ua/handle/123456789/18534?mode=full	0.49%
9. https://report.kpi.ua/uk/0111U002513	0.49%
10. http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7463/1283.pdf?sequence=3&isAllowed=y	0.35%
11. https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/1285/1283	0.35%
12. http://um.co.ua/4/4-14/4-147464.html	0.3%
13. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/18879/1/9_Pukhovyi.pdf	0.29%
14. http://bulletin.kpi.ua/article/download/79521/pdf_8	0.29%
15. http://bibliograph.com.ua/spravochnik-15/139.htm	0.24%
16. http://eprints.kname.edu.ua/35733/1/2013%2018%D0%9B%20%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1...	0.18%
17. http://referatu.in.ua/matematichne-ta-programne-zabezpechennya-analizu-povedinki-kor.html?pag..	0.18%
18. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/23141/1/Khrapin_magistr.pdf	0.17%
19. http://uapatents.com/2-46112-sposib-opalennya-budivli-pid-chas-moroziv-z-vikoristannyam-kholod..	0.17%
20. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25529/1/Zagorulko_magistr.pdf	0.17%
21. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/26643/1/Tarasenko_magistr.pdf	0.17%
22. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25862/1/Didychenko_magistr.pdf	0.17%
23. http://me.kpi.ua/downloads/abstracts/2018_mag_OPP/Didychenko_dis.pdf	0.17%
24. http://me.kpi.ua/downloads/abstracts/2018_mag_OPP/Kulish_dis.pdf	0.17%
25. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/25700/1/Zadumov_magistr.pdf	0.17%
26. http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/26028/1/Hryshai_magistr.pdf	0.17%
27. http://eprints.kname.edu.ua/35419/1/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5...	0.17%
28. http://cad.kpi.ua/attachments/093_2017dm_Yaremenko.pdf	0.17%
29. http://cad.kpi.ua/attachments/093_2017dm_Galatenko.pdf	0.17%
30. http://srv.xtf.kpi.ua/z/tnr/caf/sec/rozroblennya-startap-proektu-metodychni-rekomendatsiyi-do-vyk...	0.16%
31. http://skaz.com.ua/finansii/18357/index.html?page=3	0.16%
32. http://diplomba.ru/work/57071	0.16%
33. https://ua.kursoviks.com.ua/metodychki/5087-metodichni-rekomendatsii-do-vikonannya-rozdilu-m...	0.16%
34. https://ooep.kpi.ua/downloads/diplom/startup.docx	0.16%



Схожість



Цитата



Схожість з обраним джерелом



Посилання



Заміна літер абетки